



DISERTASI TE 143599

**OPTIMASI RUTE TRAFIK DATA DAN DESTINASI
PADA JARINGAN BERGERAK MARITIM
MENGUNAKAN ALGORITMA *BLIND SEARCH*
DAN *SWARM INTELLIGENCE***

QURROTUL AINI
NRP. 07111360010004

DOSEN PEMBIMBING:
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

PROGRAM DOKTOR
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



DISERTASI TE 143596

**OPTIMASI RUTE TRAFIK DATA DAN DESTINASI PADA JARINGAN
BERGERAK MARITIM MENGGUNAKAN ALGORITMA *BLIND*
SEARCH DAN *SWARM INTELLIGENCE***

QURROTUL AINI
NRP. 07111360010004

DOSEN PEMBIMBING:
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

PROGRAM DOKTOR
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



DISERTASI TE 143596

**ROUTE OPTIMIZATION OF DATA TRAFFIC AND DESTINATION IN
MARITIME MOBILE NETWORK USING BLIND SEARCH AND
SWARM INTELLIGENCE ALGORITHMS**

**QURROTUL AINI
NRP. 07111360010004**

SUPERVISORS:
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

**DOCTOR PROGRAM
MULTIMEDIA COMMUNICATION
ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF ELECTRO TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

Disertasi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Doktor
(Dr)

Di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Qurrotul Aini
NRP. 07111360010004

Tanggal Ujian: 7 Februari 2018
Periode Wisuda: Maret 2018

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P., M.Eng. (Pembimbing I)
NIP. 19580916 198601 1 001
2. Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA (Pembimbing II)
NIP. 19651014 199002 1 001
3. Eko Setijadi, ST, MT, Ph.D. (Pembimbing III)
NIP. 19721001 200312 100 2
4. Prof. Dr. Ir. Harry Sudibyo, M.Sc (Penguji)
NIP. 19521231 198011 1 001
5. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D (Penguji)
NIP. 19701111 199303 1 002
6. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT. (Penguji)
NIP. 19680601 199512 1 009



Mengetahui
Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Ari Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 19700212 199512 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Disertasi saya dengan judul:

**“Optimasi Rute Trafik Data dan Destinasi pada Jaringan Bergerak Maritim
Menggunakan Algoritma *Blind Search* dan *Swarm Intelligence*”**

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Februari 2018



Qurrotul Aini
NRP. 07111360010004

OPTIMASI RUTE TRAFIK DATA DAN DESTINASI PADA JARINGAN BERGERAK MARITIM MENGGUNAKAN ALGORITMA *BLIND SEARCH* DAN *SWARM INTELLIGENCE*

Nama Mahasiswa : Qurrotul Aini
NRP : 2213 301 004
Promotor : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Co-Promotor 1 : Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Co-Promotor 2 : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Maraknya *illegal fishing* di perairan Indonesia sangat berpengaruh pada keamanan negara dan sumber daya laut kita. Mengacu pada data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan tahun 2012 bahwa jumlah kapal di bawah 30 GT mendominasi 98% dari keseluruhan jumlah kapal tangkap ikan di Indonesia. Kapal-kapal tangkap ini tidak memiliki kewajiban melengkapi dengan peralatan sistem pemantauan berbasis satelit. Sedangkan kapal asing dengan bobot kecil 20-30 GT sudah dilengkapi sistem ini, sehingga mereka dengan mudah mendapatkan informasi tentang lokasi penangkapan ikan (rumpon, *fish aggregating device* (FAD)). Oleh karena itu, khusus kapal tangkap ikan < 30 GT, perlu mendapatkan perhatian, khususnya untuk *sharing* informasi antar kapal dan destinasi menuju FAD. Optimasi rute trafik data dan destinasi FAD perlu dilakukan untuk memudahkan kapal menuju FAD dengan mempertimbangkan jarak dan kondisi cuaca dan tinggi gelombang di FAD. Metode pendekatan optimasi metode *Swarm Intelligence* (SI) banyak ditawarkan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Metode optimasi seperti *Gossip* dan *Genetic algorithm* (GA) telah banyak digunakan untuk mendapatkan solusi terbaik. Usulan optimasi rute trafik data *Breadth fixed gossip* (BFG) dan PSO untuk jaringan dinamis ditujukan untuk menentukan rute terpilih berdasarkan pertimbangan jarak dan konektivitas dengan kapal lainnya. Algoritma optimasi rute trafik data BFG merupakan *hybrid* algoritma *breadth first search*, model *fixed radius* dan *Gossip*. Sedangkan optimasi rute destinasi FAD diusulkan menggunakan algoritma *firefly* dan GA. Dengan menggabungkan kedua algoritma optimasi rute, maka dibangun optimasi rute trafik data dan destinasi lokasi tangkap ikan sekaligus yaitu: BFG-G dan PSO-G. Pengujian berupa simulasi dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan menentukan rute trafik data dan lokasi FAD. Sedangkan pengujian komputasi didasarkan pada kompleksitas waktu, keakurasian, kecepatan konvergen dan jumlah relai yang diperlukan untuk mencapai kapal tujuan.

Kata Kunci: optimasi rute, trafik data, destinasi, *swarm intelligence*, algoritma pencarian

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

ROUTE OPTIMIZATION OF DATA TRAFFIC AND DESTINATION IN MARITIME MOBILE NETWORK USING BLIND SEARCH AND SWARM INTELLIGENCE ALGORITHMS

Name : Qurrotul Aini
Student ID : 2213 301 004
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Co-Supervisor 1 : Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA
Co-Supervisor 2 : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

The rise of illegal fishing in Indonesian ocean is very influential on the country security and marine resources. Referring to data from the Ministry of Marine Affairs and Fisheries in 2012 that the number of ships under 30 GT dominates 98% of the total number of fishing vessels in Indonesia. These fishing vessels have no obligation to equip with the satellite-based monitoring system. While foreign ships with a small weight of 20-30 GT already equipped this system, hence they easily get information about the location of fishing (rumpon, fish aggregating device (FAD)). Therefore, the fishing vessels <30 GT, need to get attention, especially for sharing information between ships and destinations to FAD. Optimization of data traffic routes and FAD destinations needs to be done to facilitate the ship to FAD by considering the distance and weather conditions and wave height in FAD. An approach optimization method of Swarm Intelligence (SI) is widely offered to solve the problem. Optimization methods such as Gossip and Genetic algorithm (GA) have been widely used to get the best solution. The proposed optimization of Breadth fixed gossip (BFG) data traffic route and PSO for a dynamic network are intended to determine the selected route based on consideration of distance and connectivity with other vessels. BFG traffic route optimization algorithm is a hybrid algorithm of breadth first search, fixed radius model, and Gossip. While FAD route destination optimization is proposed using firefly and GA algorithm. By combining the two route optimization algorithms, the optimization of data traffic and FAD routes are BFG-G and PSO-G. The simulations are performed to determine the success rate determine the route of data traffic and FAD location. While computational testing is based on the complexity of time, accuracy, convergent speed and the number of relays required to reach the destination ship in determining data traffic.

Keywords: route optimization, data traffic, destination, swarm intelligence, search algorithms

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah ﷻ yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku disertasi ini yang merupakan hasil penelitian selama menempuh studi program doktor di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro, Institut Sepuluh Nopember Surabaya. Tak lupa pula teriring salam dan shalawat selalu tercurah pada Nabi Muhammad ﷺ.

Pada kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng, Bapak Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA dan Bapak Eko Setijadi, ST, MT, Ph.D selaku promotor dan co-promotor yang telah membimbing, memotivasi, mengarahkan, dan mendorong untuk menyelesaikan disertasi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Harry Sudibyo, M.Sc., Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D, dan Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST, MT selaku tim penguji yang memberikan saran dan masukan disertasi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Kunio Kondo dan Prof. Takuya Terasawa yang telah mengarahkan dan membimbing ketika mengikuti program *sandwich* S3 luar negeri (PROSALE) 2015 di Tokyo University of Technology selama 3 bulan.

Penulis juga menyampaikan terima kasih pada pihak manajemen Pascasarjana, yaitu Bapak Dr. Ir. Wirawan, DEA dan Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT selaku koordinator dan sekretaris Program Studi Pascasarjana Teknik Elektro ITS. Selain itu, staf administrasi Bapak Hartono dan Bapak Sapari. Tidak lupa penulis ucapkan terima kasih pada Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah dan Kementerian Agama RI yang telah memberikan bantuan dan beasiswa PROSALE selama menempuh program doktor ini.

Penulis sangat berterima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Yoyon K. Suprpto, M.Sc yang telah memberikan banyak masukan dan diskusi tentang publikasi. Terima kasih penulis ucapkan kepada Kajur dan semua Dosen Sistem Informasi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Bu Nia Kumaladewi, Bu Meinarini Catur Utami, Bu Nur Aeni Hidayah, Bapak M. Qomarul Huda, Ph.D, Bapak Aang Subijakto, Ph.D, dan tim Abdimas Serang. Tak lupa penulis juga ucapkan terima

kasih pada Bapak Dr. Lie Jasa, Bapak Dr. Radi, Bapak Dr. Calvin Rantelobo dan Bapak Dr. Tri Budi yang banyak memberikan dukungan dan bantuan. Juga bagi rekan-rekan Dr. Ratna Ika Putri, Dr. Anang Tjahjono, Ibu Rosmaliati, Ibu Irma, Ibu Ulla, Ibu Evi, Ibu Yuning, Ibu Indah, Bapak Fanani, Bapak Yulianto, Bapak Alam, Ibu Rima terima kasih atas kebersamaan dan keceriaan di Lab. LIPIST dan Lab Komunikasi Multimedia ITS. Penulis juga ucapkan terima kasih atas dukungan teman-teman Angkatan 91 Teknik Elektro Universitas Brawijaya (Yayasan Pelangi91) yang selalu memotivasi penulis untuk selalu istiqomah, Bapak Dwifadilla, Bapak Dr. Syaifuddin, Bapak Djoko Subagio, Gus Anam, Ibu Yuni Rahmawati, Bapak Supriyatna, Ibu Riyanti, Ibu Siti Hotijah, dan Bapak Achmad Sholehudin.

Terakhir untuk keluargaku, suamiku Bambang Suryadi, Kak Icha, Mas Uding, Dek Ara dan Dek Rafie, permata hatiku, Ibuku tersayang Kintamani dan Ayahku Samsuri (almarhum), tak ada satu kata pun yang dapat mewakili terima kasihku atas segala pengertian, pengorbanan, kasih sayang, dan doa yang telah diberikan pada penulis selama ini.

Surabaya, Februari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Kontribusi dan Kebaruan Penelitian	5
1.7 Posisi dan <i>Roadmap</i> Penelitian	6
1.7.1 Posisi Penelitian	6
1.7.2 <i>Roadmap</i> Penelitian	7
1.8 Sistematika Pembahasan	9
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1 Optimasi Rute Trafik Data dan Destinasi	13
2.2 Jaringan Bergerak Maritim	14
2.3 Model <i>Fixed Radius</i>	16
2.4 Algoritma Pencarian (<i>Searching Algorithm</i>)	17
2.4.1 <i>Depth First Search</i> (DFS)	17
2.4.2 <i>Breadth First Search</i> (BFS)	18
2.5 Algoritma <i>Swarm Intelligence</i>	19
2.5.1 <i>Gossip Algorithm</i>	21
2.5.2 <i>Firefly Algorithm</i> (FA)	25

2.5.3 <i>Genetic Algorithm (GA)</i>	27
2.5.4 <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	29
BAB 3 PEMODELAN OPTIMASI RUTE TRAFIK DATA	33
BERBASIS ALGORITMA <i>BLIND SEARCH</i> DAN <i>GOSSIP</i>	
3.1 <i>Framework</i> Optimasi Rute Trafik Data <i>Blind Search</i> dan <i>Gossip</i>	33
3.2 Pemodelan Optimasi Rute Trafik Data <i>Blind Search</i> dan <i>Gossip</i>	
pada Jaringan Bergerak Maritim	34
3.3 Matriks Konektifitas dan Jarak	35
3.4 <i>Marking</i> Tiap Kapal dan Menentukan Kapal Tujuan	37
3.5 Implementasi Model <i>Fixed Radius</i>	37
3.6 Perhitungan Probabilitas <i>Gossip</i>	38
3.7 Pengujian Keberhasilan Trafik Data	41
BAB 4 PEMODELAN OPTIMASI RUTE DESTINASI	
BERBASIS ALGORITMA <i>FIREFLY</i> DAN GENETIKA	53
4.1 <i>Framework</i> Optimasi Rute Destinasi <i>Fish Aggregating Device</i>	
(FAD)	53
4.2 Alat Bantu Pengumpul Ikan	54
4.3 Pemodelan Optimasi Rute Destinasi FAD Berbasis FA dan GA	55
4.4 Topologi Jaringan Kapal	58
4.5 Optimasi Rute FAD Menggunakan Algoritma <i>Firefly</i>	59
4.6 Optimasi Rute FAD Menggunakan Algoritma Genetika	60
4.7 Skenario Pengujian	62
4.8 Pengujian Optimasi Rute FAD	64
BAB 5 PEMODELAN OPTIMASI RUTE TRAFIK DATA	69
BERBASIS <i>PARTICLE SWARM OPTIMIZATION</i>	
5.1 Metode Pemodelan Optimasi Rute Jaringan Dinamik	69
5.2 <i>Framework</i> Optimasi Rute Trafik Data dengan PSO	70
5.3 Model Optimasi Rute Trafik Data dengan PSO	70
5.4 Skenario dan Pengujian	72

5.5 Pengujian Algoritma PSO pada Jaringan Dinamik	75
BAB 6 IMPLEMENTASI BFG DAN PSO BERBASIS	89
PERGERAKAN ALGORITMA GENETIKA PADA	
JARINGAN BERGERAK MARITIM	
6.1 Persyaratan Desain	89
6.2 <i>Framework</i> dan Model Optimasi Rute Trafik Data dan Destinasi	90
6.3 Pengujian Optimasi Rute Trafik Data dan Destinasi FAD	91
6.3.1 Keberhasilan Menentukan Rute	94
6.3.2 Kompleksitas Waktu dan Akurasi Algoritma BFG-G dan PSO-G	97
6.3.3 Konvergen dan Jumlah Relai	97
BAB 7 PENUTUP	101
7.1 Kesimpulan	101
7.2 Penelitian Selanjutnya	102
DAFTAR PUSTAKA	105
BIODATA PENULIS	113

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Vessel monitoring system</i>	2
Gambar 1.2	Posisi penelitian optimasi rute	8
Gambar 1.3	Peta jalan penelitian	11
Gambar 2.1	Rute alternatif lokasi awal ke akhir	13
Gambar 2.2	<i>Vessel messaging system</i>	15
Gambar 2.3	Model <i>fixed radius</i>	16
Gambar 2.4	<i>Depth first search</i>	18
Gambar 2.5	<i>Breadth first search</i>	19
Gambar 2.6	Klasifikasi algoritma terinspirasi alam (<i>nature-inspired</i>)	20
Gambar 2.7	<i>Bond percolation</i>	24
Gambar 2.8	Diagram alir algoritma genetika	28
Gambar 3.1	<i>Framework</i> optimasi rute <i>blind search</i> dan <i>gossip</i>	33
Gambar 3.2	Optimasi rute trafik data <i>Breadth Fixed Gossip</i>	34
Gambar 3.3	Tampilan persebaran kapal pada area 10×10 km	35
Gambar 3.4	<i>Marking</i> kapal dengan nomor level pada area 10×10 km	37
Gambar 3.5	Implementasi model <i>fixed radius</i> pada area 10×10 km	38
Gambar 3.6	Rute terpilih terbangun pada area 10×10 km	41
Gambar 3.7	<i>Save retransmission</i> jumlah kapal pada area 10×10 km	42
Gambar 3.8	<i>Save retransmission</i> maksimum DFS dan BFG pada area 50×50 km	45
Gambar 4.1	<i>Framework</i> optimasi rute kapal menuju FAD	54
Gambar 4.2	Contoh FAD	55
Gambar 4.3	Pemilihan rute kapal penangkap ikan menuju FAD	56
Gambar 4.4	Optimasi rute menggunakan algoritma <i>Firefly</i>	58
Gambar 4.5	Optimasi rute menggunakan algoritma genetika	58
Gambar 4.6	Posisi kapal dan FAD pada area 300×300 km	59
Gambar 4.7	Tampilan simulasi dengan optimasi FA area 300×300 km	63

Gambar 4.8 Tampilan simulasi dengan optimasi GA area 300×300 km	64
Gambar 5.1 Pemilihan rute pada jaringan dari A ke B	69
Gambar 5.2 <i>Framework</i> optimasi rute trafik data dengan PSO	70
Gambar 5.3 Optimasi rute trafik data dengan PSO	71
Gambar 5.4 Skenario pertama topologi jaringan area 50×50 km	73
Gambar 5.5 Skenario kedua topologi jaringan area 50×50 km	73
Gambar 5.6 Topologi jaringan lain area 50×50 km	81
Gambar 5.7 Topologi jaringan kapal kedua area 50×50 km	82
Gambar 5.8 Tampilan pemilihan rute	85
Gambar 5.9 Pemilihan rute <i>langkah</i> 1 pada <i>Tx range</i> 9 km	86
Gambar 5.10 Pemilihan rute <i>langkah</i> 2 terputus pada <i>Tx range</i> 9 km	86
Gambar 6.1 <i>Framework</i> optimasi rute trafik data dan destinasi	90
Gambar 6.2 Optimasi rute trafik data dan destinasi FAD	91
Gambar 6.3 Skenario pengujian optimasi rute	92
Gambar 6.4 Topologi awal jaringan kapal penangkap ikan	93
Gambar 6.5 Jaringan kapal bergerak menuju FAD	93
Gambar 6.6 Tampilan akhir rute destinasi FAD	94
Gambar 6.7 Rute trafik data V_1 ke V_{39} menggunakan BFG-G	95
Gambar 6.8 Rute trafik data V_1 ke V_{39} menggunakan PSO-G	95
Gambar 7.1 Penelitian selanjutnya	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi algoritma pencarian	17
Tabel 2.2	Ikhtisar penelitian <i>route discovery</i> dengan <i>gossip</i>	24
Tabel 2.3	Penelitian optimasi dengan FA	27
Tabel 2.4	Hasil penelitian optimasi dengan GA	29
Tabel 2.5	Hasil penelitian optimasi dengan PSO	33
Tabel 3.1	Matriks konektifitas antar kapal	36
Tabel 3.2	Matriks jarak antar kapal	36
Tabel 3.3	Probabilitas V_{11} dan V_4	39
Tabel 3.4	Probabilitas V_9 dan V_7	40
Tabel 3.5	Probabilitas V_{13} dan V_2	40
Tabel 3.6	Probabilitas kapal level 5	40
Tabel 3.7	Parameter simulasi	42
Tabel 3.8	<i>Save retransmission</i> maksimum BFG pada area 50×50 km	44
Tabel 3.9	<i>Save retransmission</i> maksimum BFG pada area 100×100 km	44
Tabel 3.10	<i>Save retransmission</i> maksimum DFS pada area 50×50 km	45
Tabel 3.11	<i>Transmission failure</i> BFG (%) area 50×50 km	47
Tabel 3.12	<i>Transmission failure</i> BFG (%) area 100×100 km	47
Tabel 3.13	<i>Transmission failure</i> DFS (%) area 50×50 km	48
Tabel 3.14	<i>Hop count</i> maksimum BFG area 50×50 km	49
Tabel 3.15	<i>Hop count</i> maksimum BFG area 100×100 km	50
Tabel 3.16	Jumlah <i>hop</i> maksimum DFS area 50×50 km	51
Tabel 4.1	Nilai γ dan α	57
Tabel 4.2	Kondisi cuaca (γ_2)	60
Tabel 4.3	Kondisi tinggi gelombang (γ_3)	60
Tabel 4.4	Kromosom awal kapal	60
Tabel 4.5	Kromosom kapal dan <i>fitness</i>	61
Tabel 4.6	Perangkingan nilai <i>fitness</i>	61
Tabel 4.7	Duplikasi kromosom	61
Tabel 4.8	<i>Crossover</i> kromosom	62

Tabel 4.9 Mutasi kromosom	62
Tabel 4.10 Parameter Simulasi	63
Tabel 4.11 Kompleksitas waktu setelah 100 kali <i>running</i>	65
Tabel 4.12 Kompleksitas waktu setelah 50 kali <i>running</i>	65
Tabel 4.13 Nilai MAPE FA dan GA setelah 50 kali <i>running</i>	66
Tabel 4.14 Nilai MAPE (%) tanpa penghalang	66
Tabel 4.15 Jarak tempuh langkah ke-2 FA	67
Tabel 4.16 Jarak tempuh langkah ke-2 GA	67
Tabel 5.1 Parameter simulasi	74
Tabel 5.2 Matriks <i>on-off</i> kapal	74
Tabel 5.3 Hasil Simulasi dengan menggunakan PSO	76
Tabel 5.4 Pilihan rute trafik data kapal	77
Tabel 5.5 Rute tersedia ketika V_{21} <i>off</i>	78
Tabel 5.6 Rute tersedia ketika V_{21} dan V_{10} <i>off</i>	79
Tabel 5.7 Rute tersedia ketika V_{21} , V_{10} dan V_{23} <i>off</i>	80
Tabel 5.8 Hasil simulasi V_1 ke V_{10} (<i>Tx range</i> 15 km)	83
Tabel 5.9 Hasil simulasi V_1 ke V_{10} (<i>Tx range</i> 13 km)	84
Tabel 5.10 Hasil simulasi V_1 ke V_{10} (<i>Tx range</i> 11 km)	84
Tabel 6.1 Parameter simulasi optimasi rute BFG dan PSO	92
Tabel 6.2 Probabilitas kapal level 2 (kecepatan 17 km/jam)	96
Tabel 6.3 Probabilitas kapal level 2 (kecepatan 20 km/jam)	96
Tabel 6.4 Konvergen V_1 ke V_{31} BFG-G	97
Tabel 6.5 Konvergen V_1 ke V_{31} PSO-G	98
Tabel 6.6 Evaluasi pengujian BFG-G dan PSO-G	98
Tabel 6.7 Kinerja algoritma optimasi rute	99
Tabel 7.1 Evaluasi komputasi	102

DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI

A. Daftar Singkatan

ACO	Ant Colony Optimization
AI	Artificial Intelligence
ANSI	Ad hoc Network with Swarm Intelligence
AODV	Ad hoc On Demand Distance Vector
AODV-RG	AODV menggunakan RSS pada algoritma Gossip
BFG	Breadth Fixed Gossip
BFS	Breadth First Search
CPSO	Chaos Particle Swarm Optimization
DFS	Depth First Search
DNDP	Dynamic Noise-Dependent Probabilistic
DSS	Decision Support System
ES	Expert System
FA	Firefly Algorithm
FAD	Fish Aggregating Device
FCPSO	Fixed CPSO
FFG	Fixed Fanout Gossip
GA	Genetic Algorithm
GAM	Generalized Additive Model
HC	Hop Count
LAR-1	Location-Aided Routing scheme 1
LAR-1P	Location-Aided Routing scheme 1 & Probabilistic algorithm
MANET	Mobile Ad hoc Network
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
MLR	Multiple Linear Regression
MSE	Mean Square Error
NN	Neural Network
PBG	Probability Broadcast Gossip
PEG	Probability Edge Gossip
PSO	Particle Swarm Optimization

QOS	Quality of Service
RREQ	Received Request
RSS	Received Signal Strength
SI	Swarm Intelligence
SR	Saved Retransmission
TF	Transmission Failure
TOTP-RO	Time-based One-Time Password Route Optimization
TSP	Traveling Salesman Problem
UCAV	Uninhabited Combat Air Vehicle
VANET	Vehicle Ad hoc Network
VMeS	Vessel Messaging System
VMS	Vessel Monitoring System
WSN	Wireless Sensor Network

B. Daftar Notasi

α	Parameter fisik representasi <i>noise</i> yang berdampak pada transmisi cahaya
β_0	Nilai awal parameter <i>attractiveness</i> (ketertarikan) algoritma <i>firefly</i> yang di-set 1
C_i	Kondisi cuaca di lokasi FAD ke- i
d_i	jarak aktual kapal penangkap ikan i terhadap posisi FAD
$D(q,t)$	Jarak <i>Euclidean</i> antara <i>node</i> q dan t dalam dua dimensi
\hat{d}_i	jarak prediksi kapal penangkap ikan i terhadap posisi FAD
G_i	Kondisi gelombang laut di lokasi FAD ke- i
$f_i(x)$	Fungsi objektif/tujuan representasi objek i dengan variabel x
$g_k(x)$	Batasan atau kendala untuk pertidaksamaan dalam variabel x
$G=(V,E)$	Model <i>Graph</i> dengan himpunan verteks V dan <i>edge</i> E
γ	Parameter <i>attractiveness</i> untuk menentukan kecepatan konvergen
H_i	<i>Hop</i> atau lompatan pada rute i
$h_j(x)$	Batasan atau kendala untuk persamaan dalam variabel x
k_i^{t+1}	Kecepatan partikel i pada iterasi $t+1$ (telah diperbarui)
K_i	Kecepatan partikel ke- i

K^{\max}	Batas ruang pencarian kecepatan maksimum k
K^{\min}	Batas ruang pencarian kecepatan minimum k
l_{ij}	<i>Link</i> terkoneksi antara <i>node</i> i dan j pada graph
L	Konstanta pengali pada PSO
$m \times n$	Area simulasi panjang (m) dan lebar (n)
M	Banyaknya <i>cost</i> atau fungsi objektif yang dioptimasi
p_i^t	Posisi terbaik lokal ketika partikel i telah mencapai iterasi t
p_g^t	Posisi terbaik global semua partikel yang mencapai iterasi t
p	Probabilitas sebuah <i>node</i> mengirimkan <i>request</i>
(p, k)	Probabilitas <i>Gossip</i> dengan banyaknya <i>hop</i> (k)
(p, d, c)	Probabilitas <i>Gossip</i> dengan jarak ke tujuan (d) dan konektifitas sekitarnya (c)
q	Koordinat (q_1, q_2)
$rand_1()$	Fungsi membangkitkan angka acak pertama
$rand_2()$	Fungsi membangkitkan angka acak kedua
r_{ij}	Jarak antara <i>firefly</i> i dan j
R	Radius cakupan transmisi (<i>Tx range</i>)
\mathbb{R}^n	Ruang berdimensi n yang disebut <i>design space</i> atau <i>search space</i>
t_i	Transmisi ulang pada rute i yang dapat dihemat
u_1	Konstanta atau koefisien kepercayaan kognitif pertama
u_2	Konstanta atau koefisien kepercayaan kognitif kedua
U_i	<i>Node</i> ke- i
V_i	<i>Vessel</i> (kapal) ke- i
w_1, w_2, w_3	Bobot parameter 1, 2, dan 3 di fungsi tujuan
ω	Berat inersia (<i>inertia weight</i>)
w_1, w_2, w_3	Bobot parameter 1, 2, dan 3 di fungsi tujuan
x_k	Posisi <i>node</i> /titik saat iterasi ke k pada peta polinomial
x_{k+1}	Posisi <i>node</i> /titik saat iterasi $k+1$ pada peta polinomial
x_i	Posisi partikel ke- i
X_i	Himpunan posisi partikel/titik i
x_i^t	Posisi partikel i pada iterasi t
x_i^{t+1}	Posisi partikel i pada iterasi $t+1$ (telah diperbarui)

X^{\min}	Batas ruang pencarian posisi minimum x
X^{\max}	Batas ruang pencarian posisi maksimum x
Z	Fungsi tujuan (<i>fitness</i>)

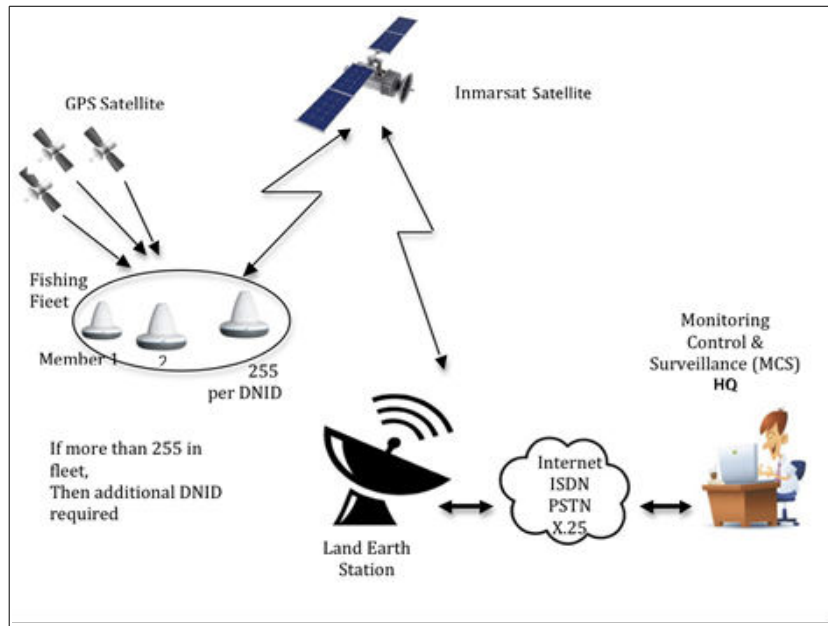
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan bergerak maritim terdiri atas kapal-kapal yang bergerak dan melakukan komunikasi antar kapal dan ke pusat *monitoring* yang ada di darat menggunakan media satelit. *Vessel monitoring system* (VMS) (Gambar 1.1) adalah salah satu contoh jaringan bergerak maritim, di mana terdapat tiga komponen pendukungnya yaitu peralatan dalam kapal (*shipboard equipment*), sistem komunikasi, dan pusat monitor perikanan [1]. Banyak kapal asing dengan bobot 20-30 GT yang tertangkap di perairan Indonesia (*illegal fishing*) telah dilengkapi dengan sistem ini, sedangkan kebijakan Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia, mewajibkan kapal dengan bobot di atas 30 GT menyediakan peralatan berbasis satelit [2]. Mengacu pada data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan tahun 2012, kapal di bawah 30 GT mendominasi 98% dari keseluruhan jumlah kapal tangkap ikan di Indonesia [3]. Kapal-kapal tangkap ini tidak dilengkapi peralatan berbasis satelit sehingga informasi tentang lokasi tangkapan ikan tidak diketahui dan perjalanan menuju lokasi tersebut masih harus dipertimbangkan karena keterbatasan bahan bakar. Oleh karena itu, khusus kapal tangkap ikan < 30 GT, perlu mendapatkan perhatian, khususnya untuk trafik data antar kapal dan destinasi menuju lokasi tangkapan ikan. Dengan optimasi rute, pengiriman informasi antar kapal dapat cepat dan tepat.

Pengiriman data antar kapal dalam sebuah jaringan menjadikan *routing* sebagai perhatian utama, karena menyangkut keberhasilan distribusi informasi. Idealnya model *routing* terdiri atas 3 bagian, penemuan rute (*route discovery*); pemilihan rute (*route selection*); dan representasi rute & penerusan data (*data forwarding*) [4]. Pada kedua bagian penemuan dan pemilihan rute, metode optimasi dapat diterapkan, sehingga ketika sebuah kapal ingin mengirim data ke kapal lain maka dengan cepat ditentukan rute terpilih dengan pertimbangan jarak terpendek dengan kapal tujuan dan konektifitas dengan kapal lain.



Gambar 1.1 *Vessel monitoring system* [1]

Optimasi dapat menyelesaikan berbagai permasalahan dalam berbagai bidang aplikasi dengan tujuan mencari nilai optimal tertentu. Kebanyakan permasalahan optimasi di dunia nyata merupakan optimasi *multiobjective*. Salah satu aplikasi adalah optimasi rute atau jalur untuk mendapatkan rute terpilih dari yang tersedia. Rute terpilih dapat dipandang sebagai rute yang memiliki jarak terpendek, waktu yang diperlukan lebih sedikit, sehingga *cost* (biaya) yang diperlukan semakin kecil ataupun dipandang dari sisi konsumsi energi. Permasalahan optimasi yang berbeda dapat diselesaikan dengan menggunakan teknik optimasi yang berbeda pula. Secara umum, algoritma optimasi terbagi dalam dua kategori, algoritma deterministik dan stokastik [5]. Terdapat dua tipe pada algoritma stokastik, yaitu heuristik dan metaheuristik. Algoritma pencarian *blind search* seperti BFS dan DFS merupakan contoh algoritma heuristik. Sedangkan algoritma metaheuristik adalah metode untuk memecahkan masalah dengan menggabungkan fungsi objektif atau heuristik dan lebih efisien [6]. Metode ini kebanyakan terinspirasi dari alam (*nature*). Salah satu klasifikasinya yaitu berbasis populasi (*population-based*) dan lintasan (*trajectory-based*). Untuk *population-based*, contohnya adalah *genetic algorithm* (GA) dan *particle swarm*

optimization (PSO). Algoritma ini disebut juga dalam kelas *swarm intelligence* (SI) [7].

Optimasi rute banyak diinvestigasi dan dieksplorasi di lingkungan darat misal bidang transportasi atau aplikasi *traveling salesman problem* dengan penerapan implementasi algoritma *searching* dan SI [5][6]. Begitu pula dalam proses penemuan rute (*route discovery*) pada *routing* dalam jaringan nirkabel.

Optimasi dapat diterapkan dalam penemuan dan pemilihan rute pengiriman informasi dalam sebuah jaringan ataupun permasalahan rute mencapai sebuah lokasi tertentu. Komunikasi nirkabel saat ini banyak dipergunakan pada kondisi yang tidak menguntungkan misalnya ketiadaan informasi yang berhubungan dengan tetangganya atau anggota lain dalam sebuah kelompok/jaringan. Ditambah kondisi anggota dalam jaringan cenderung aktif dan selalu bergerak, sehingga akan cepat bergabung ataupun meninggalkan kelompoknya. Bila sebuah kapal dalam sebuah kelompok/jaringan mengirim informasi ke tujuan di luar cakupan transmisinya, maka diperlukan beberapa kapal relai untuk mengirimkan informasi tersebut.

Pada penelitian ini, peneliti menginvestigasi optimasi rute trafik data dan destinasi dari antar kapal atau menuju lokasi tangkapan ikan. Penelitian ini berfokus penemuan dan pemilihan rute. Penemuan dan pemilihan rute menjadi krusial ketika dihadapkan pada kondisi lingkungan yang berbeda (misal: di laut), ketiadaan pengetahuan/informasi tentang kapal dalam jaringan, topologi yang dinamis karena mobilitas serta kondisi kapal yang dapat berubah dari aktif (*on*) menjadi pasif (*off*). Usulan metode gabungan (*hybrid*) SI dan *searching*, bertujuan mendapatkan solusi terbaik dari rute yang tersedia dalam jaringan komunikasi bergerak maritim.

1.2 Perumusan Masalah

Banyak metode optimasi yang ditawarkan dan diinvestigasi pada lingkungan darat, namun tak dipungkiri investigasi metode optimasi di lingkungan laut sangat perlu mendapat perhatian. Optimasi rute pada mekanisme penemuan dan pemilihan rute sebagai bagian dari *routing* perlu mendapat perhatian, dengan

kondisi sebuah jaringan memerlukan beroperasi di lingkungan yang tidak menguntungkan seperti jaringan tidak dibangun untuk penyediaan komunikasi, biasanya masih kurang handal daripada infrastruktur jaringan yang sudah ada; jaringan bersifat dinamis; dan biasanya jaringan ini memiliki sumber daya terbatas dalam hal komunikasi maupun komputasi. Oleh karena itu, peneliti menginvestigasi metode optimasi yang telah ada dan mengusulkan metode optimasi yang kokoh terhadap dinamika jaringan karena pergerakan anggota yang dapat bergabung dan meninggalkan kelompoknya secara tiba-tiba serta cepat melakukan komputasi dan komunikasi. Metode yang diusulkan dititikberatkan pada kombinasi (*hybrid*) algoritma pencarian, model topologi jaringan nirkabel dan algoritma *swarm intelligence* (SI) untuk solusi optimal. Berdasarkan hal tersebut, maka permasalahan penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan optimasi rute dalam jaringan bergerak maritim?
2. Bagaimana menerapkan algoritma *blind search* dan SI untuk mendapatkan rute terpilih dari yang tersedia?
3. Bagaimana mendapatkan kinerja/performa algoritma yang diusulkan untuk optimasi rute pada jaringan bergerak maritim?

1.3 Batasan Masalah

Adapun optimasi rute trafik data dan destinasi bertujuan mendapatkan rute terpilih dengan mempertimbangkan:

- a. jarak terdekat antar kapal dan lokasi tangkapan ikan;
- b. banyaknya kapal yang diperlukan sebagai relai menuju kapal tujuan;
- c. kondisi jalur antar kapal tanpa adanya halangan;
- d. rute destinasi yang dimaksud adalah lokasi tangkapan ikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu:

1. Mendapatkan model optimasi rute trafik data dan destinasi *Breadth Fixed Gossip-Genetic* (BFG-G) dan *Particle Swarm Optimization-Genetic* (PSO-G).

2. Mendesain skenario dan melakukan simulasi optimasi rute trafik data dan rute tangkapan ikan pada jaringan bergerak maritim.
3. Mendapatkan kinerja/performa berupa kompleksitas dan keakurasian mekanisme *hybrid* algoritma *blind search* dan SI yang diusulkan.
4. Menentukan rute terpilih sesuai kinerja/performa yang telah didapatkan dari simulasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penemuan dan pemilihan rute menjadi proses penting dalam optimasi rute. Banyak usulan optimasi yang bertujuan untuk mendapatkan rute terpilih dari alternatif yang tersedia. Manfaat penelitian ini adalah didapatkannya referensi/acuan optimasi rute trafik data dan destinasi tangkapan ikan sebagai proses penemuan dan pemilihan rute yang dapat diterapkan pada jaringan nirkabel, dengan melakukan *hybrid* algoritma *blind search* khususnya *breadth first search* (BFS) dan SI.

1.6 Kontribusi dan Kebaruan Penelitian

Kontribusi dan kebaruan dari penelitian ini yang belum pernah dilaporkan dalam literatur adalah:

- a. Formulasi dan implementasi algoritma *hybrid Breadth First Search* dan *Swarm Intelligence*, yaitu *Breadth Fixed Gossip-Genetic* (BFG-G) dan *Particle Swarm Optimization-Genetic* (PSO-G) dalam konteks baru yaitu optimasi rute trafik data dan lokasi tangkapan ikan.
- b. Metode penentuan probabilitas Gossip (p_{gossip}) pada algoritma *Breadth Fixed Gossip* untuk optimasi trafik data jaringan nirkabel untuk komunikasi antar kapal penangkap ikan yang didasarkan pada jarak ke kapal tujuan dan konektifitas dengan kapal lainnya.
- c. Formulasi dan implementasi algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam skenario baru untuk optimasi rute trafik data pada jaringan dinamik.
- d. Formulasi dan implementasi algoritma *firefly* dan genetika dalam skenario baru untuk optimasi rute destinasi tangkapan ikan.

1.7 Posisi dan *Roadmap* Penelitian

Penelitian penemuan dan pemilihan rute pada jaringan nirkabel telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Namun demikian, penelitian yang mengarah pada mekanisme optimasi rute berbasis pada algoritma *blind search* dan SI masih dapat dikembangkan untuk berbagai lingkungan dan kondisi, misal pada lingkungan di laut dengan memperhatikan kondisi yang mempengaruhi pergerakan kapal.

1.7.1 Posisi Penelitian

Pada Gambar 1.2 diperlihatkan diagram posisi penelitian terhadap sebagian penelitian sejenis yang telah dilakukan. Teknik optimasi telah diterapkan pada berbagai aplikasi baik di lingkungan darat maupun laut. Pada aplikasi maritim, teknik optimasi diimplementasikan untuk rute berlayar dan kapal dengan menggunakan GA [9] [10], selain itu teknik optimasi PSO juga diterapkan untuk menentukan rute berlayar yang aman [11]. Begitu pula dengan penjadwalan kapal dapat diimplementasikan teknik *hybrid* GA dan PSO [12]. Penelitian lain mengenai optimasi penjadwalan *monitoring* kapal juga menerapkan teknik optimasi GA [13]. Sedangkan penelitian bidang maritim MANET, GA diterapkan untuk optimasi rute (*routing*) pengiriman data pada kelompoknya khususnya di militer [14]. Penelitian yang telah dilakukan [15] memperlihatkan implementasi Markov *chain* untuk optimasi trafik data di maritim. Sedangkan penelitian yang penulis lakukan pada posisi optimasi rute trafik data dari suatu *vessel* ke *vessel* yang lain di laut.

Adapun penelitian di lingkungan darat (*urban*, *highway*), juga mengimplementasikan teknik optimasi SI dalam beragam bidang aplikasi. Optimasi rute diimplimentasikan pada distribusi obat [16], begitu pula pada permasalahan *traveling salesman* teknik optimasi ACO dikombinasikan dengan algoritma pencarian A* [17]. Penelitian di bidang *tourism*, juga mengimplementasikan algoritma GA dan sistem imun untuk optimasi rute kawasan wisata [18]. Sebuah usulan ditawarkan berupa prosedur optimasi rute untuk mengurangi *handover delay* dan *signaling overhead* yang disebut *time-*

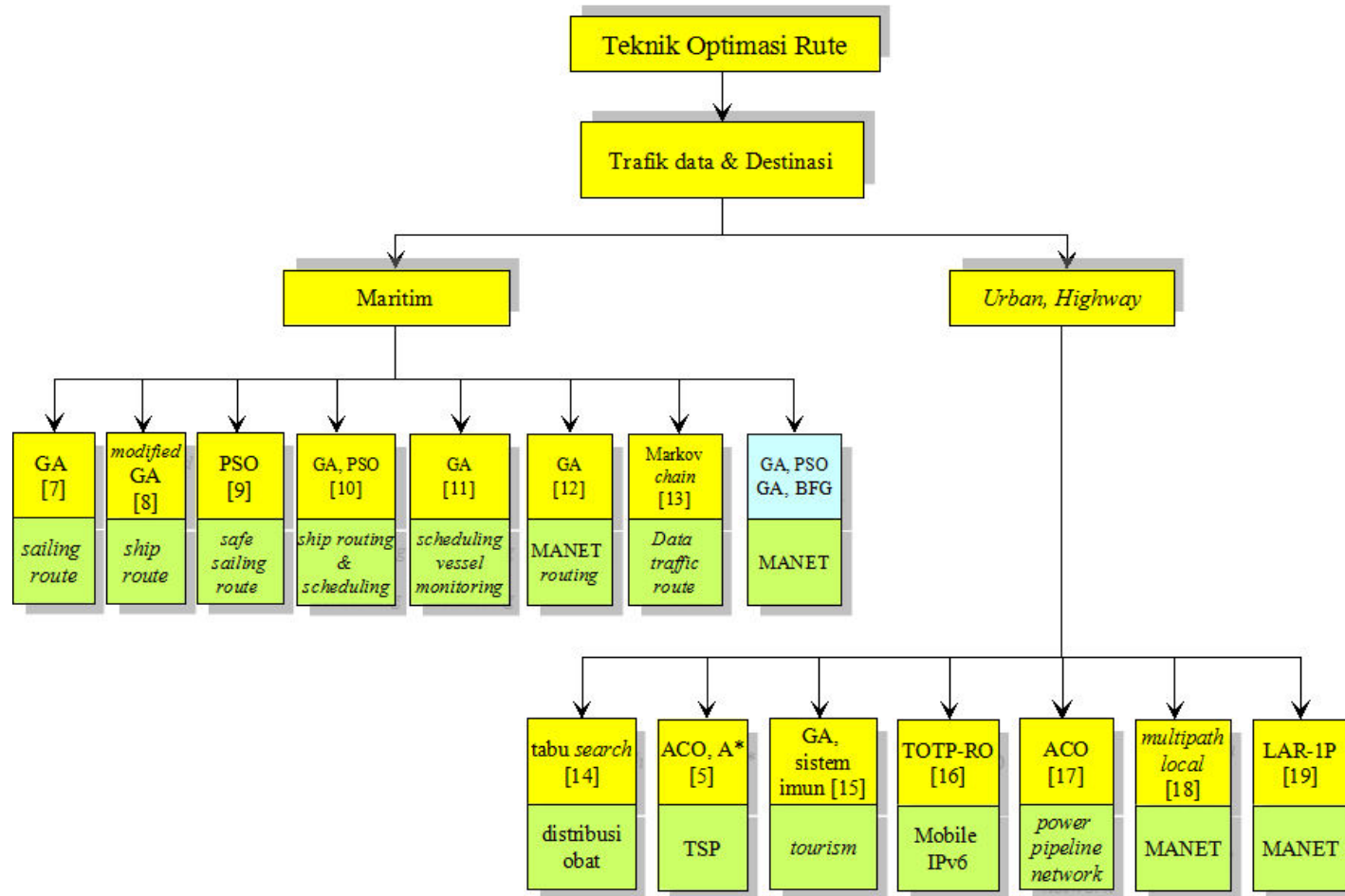
based one-time password Route Optimization (TOTP-RO) [19]. Model optimasi rute juga diadopsi dari GA yang memperlihatkan bahwa model tersebut layak digunakan di mana dampak rute yang dipilih dapat mengurangi tekanan sepanjang saluran pipa minyak dan gas [20]. Pada aplikasi MANET, *route discovery* diimplementasikan dengan *multipath local route* yaitu membuat rute *cache* berdasarkan ketersediaan jaringan. Jika terjadi kegagalan rute, *node* sumber menemukan tetangga terdekat membentuk jalur pemulihan lokal dengan *bandwidth* maksimum dari *cache* rutenya [21]. Begitu pula dengan mekanisme *location-aided routing scheme 1* dan *probabilistic algorithm* (LAR-1P), suatu skema *route discovery* yang berfungsi mengurangi banyaknya retransmisi yang kemudian dibandingkan dengan skema LAR-1 [22].

1.7.2 Roadmap Penelitian

Roadmap atau peta jalan penelitian secara keseluruhan yang dilakukan oleh peneliti ditunjukkan pada Gambar 1.3 dalam bentuk diagram tulang ikan (*fishbone*). Untuk mendapatkan target “Optimasi rute trafik data dan destinasi pada jaringan bergerak maritim menggunakan algoritma *blind search* dan *swarm intelligence*” didukung oleh tiga sub topik yang terdiri atas pemodelan optimasi rute trafik data; pemodelan rute tangkapan ikan; pemodelan rute trafik data dan tangkapan ikan. Pada sub topik pemodelan, peneliti mengusulkan beberapa optimasi berbasis algoritma BFS serta SI seperti Gossip, GA, FA, dan PSO.

Peneliti melakukan usulan algoritma optimasi yang meliputi:

- (1) *Hybrid* algoritma *Gossip* dan pencarian *breadth first search* (BFS) pada jaringan nirkabel bergerak yang disebut *Breadth Fixed Gossip* (BFG). Dari *framework*, dikembangkan pemodelan dan alur optimasi rute trafik data, lalu ditentukan skenario dan parameter pengujian.
- (2) Model optimasi rute destinasi dengan menggunakan algoritma FA dan GA untuk mendapatkan rute yang terpilih dari rute yang tersedia menuju suatu area tangkapan ikan. Kondisi lingkungan untuk implementasi FA dinyatakan dalam parameter γ seperti tinggi gelombang dan cuaca. Pada GA, kondisi lingkungan yang mempengaruhi pergerakan kapal dengan penghalang.



Gambar 1.2 Posisi penelitian optimasi rute

- (3) Pemodelan optimasi rute trafik data dengan menggunakan algoritma PSO pada jaringan komunikasi bergerak maritim dengan merepresentasikan kondisi tiap perangkat bergerak dalam kondisi aktif (*on*) ataupun sebagian non-aktif (*off*).
- (4) Pemodelan rute trafik data dan destinasi dalam algoritma optimasi BFG dan PSO dengan berbasis pergerakan GA.

1.8 Sistematika Pembahasan

Pembahasan disertasi ini dimulai dengan pemodelan optimasi rute trafik BFS dan *Gossip* (BFG) pada Bab 3. Kemudian dilanjutkan pada Bab 4 dengan pemodelan optimasi rute destinasi menggunakan algoritma *firefly* dan genetika dengan maksud untuk menginvestigasi peluang dan tantangan kedua algoritma pada jaringan bergerak maritim. Pada bab 5 dibahas pemodelan optimasi rute trafik dengan algoritma alternatif PSO dengan tujuan mengeksplorasi peluang implementasi dalam jaringan dinamik. Selanjutnya implementasi gabungan optimasi rute trafik data dan destinasi BFG berbasis genetika dibahas pada Bab 6 dengan membandingkan dengan PSO berbasis genetika. Penulisan disertasi ini terdiri atas 7 bab, dengan rincian tiap bab sebagai berikut:

Bab 1 - Pendahuluan

Pada bagian ini peneliti menyajikan ikhtisar topik utama yang dibahas dengan perumusan masalah, tujuan dan manfaat, kontribusi dan kebaruan, serta posisi dan *roadmap* penelitian.

Bab 2 - Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan beberapa teori yang mendukung *framework* penelitian. Bab ini terbagi dalam 3 bagian, pertama, penjelasan optimasi rute trafik data dan destinasi. Kedua, menyajikan jaringan bergerak maritim dan ketiga, algoritma pencarian (*searching*) dan SI.

Bab 3 - Pemodelan Optimasi Rute Trafik Data Berbasis Algoritma *Blind Search* dan *Gossip*

Terbagi atas 3 bagian, pertama, menjelaskan *framework* optimasi rute trafik data; kedua, model optimasi rute trafik data dengan menentukan

menentukan fungsi *fitness* dan alur algoritma BFG, dan terakhir pengujian BFG.

Bab 4 - Pemodelan Optimasi Rute Destinasi Berbasis Algoritma Firefly dan Genetika

Bab ini terdiri atas 4 bagian, pertama, menyajikan *framework* optimasi yang dilakukan. Kedua, membahas tentang model optimasi rute menuju FAD berbasis algoritma *firefly* dan genetika. Bagian ketiga menjelaskan topologi jaringan sebagai pertimbangan pengujian. Dan terakhir adalah pengujian algoritma optimasi rute destinasi.

Bab 5 - Pemodelan Optimasi Rute Trafik Data Berbasis *Particle Swarm Optimization*

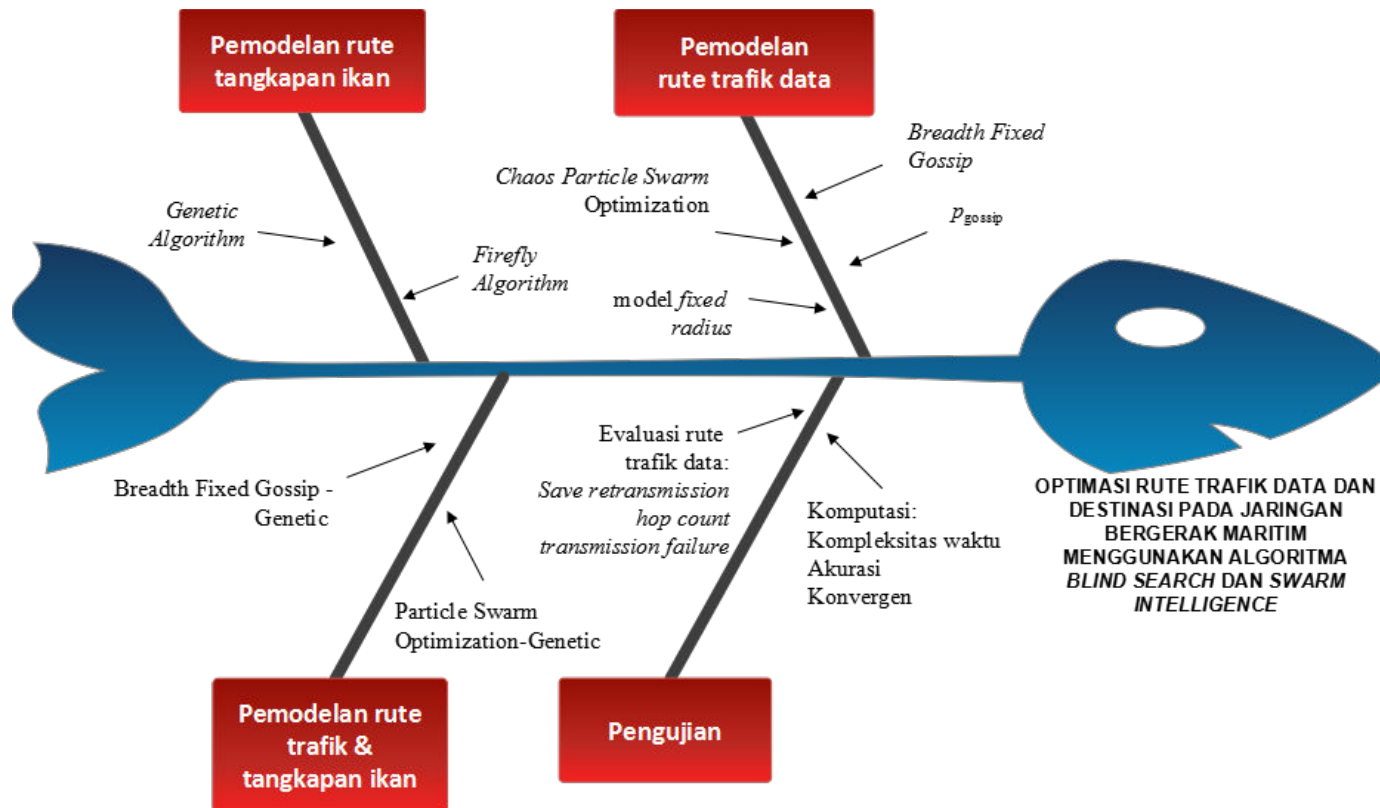
Bab ini terbagi atas 3 bagian, pertama, *framework* optimasi rute trafik data menggunakan PSO. Kedua, model optimasi berbasis PSO dan ketiga skenario dan pengujian algoritma optimasi yang diusulkan.

Bab 6 - Implementasi BFG dan PSO Berbasis Pergerakan Algoritma Genetika pada Jaringan Bergerak Maritim

Bab ini terbagi atas 2 bagian, pertama, model optimasi rute trafik data dan destinasi usulan yaitu BFG-G dan PSO-G; kedua, pengujian algoritma optimasi usulan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian keberhasilan menemukan rute, kompleksitas waktu, keakurasian, konvergen dan jumlah relai.

Bab 7 - Penutup

Bab ini adalah bab terakhir yang berisi 2 bagian. Pertama, kesimpulan hasil pengujian algoritma rute trafik data & destinasi BFG-G dan PSO-G. Kedua, penelitian selanjutnya yang dikembangkan dari algoritma optimasi rute.



Gambar 1.3 Peta jalan penelitian

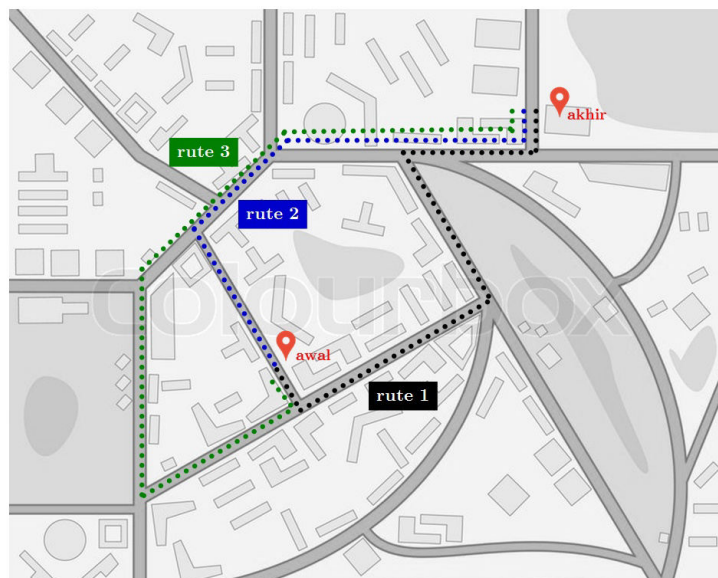
---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Optimasi Rute Trafik Data dan Destinasi

Optimasi adalah upaya atau cara untuk memperoleh hasil yang terbaik [23]. Upaya yang dimaksudkan adalah langkah yang sistematis yang mengacu pada sebuah algoritma tertentu untuk mencari nilai minimum/maksimum. Metode optimasi menyediakan alternatif kumpulan teknik yang menghasilkan keluaran yang kokoh, untuk mengatasi konvergensi yang lambat dan skalabilitas maka metode heuristik digunakan sebagai solusi [24]. Optimasi rute merupakan upaya atau proses menentukan rute yang paling efisien. Proses ini lebih kompleks yang bukan sekedar mendapatkan rute terpendek [25]. Optimasi rute biasanya mengacu pada rute secara fisik menuju sebuah lokasi tujuan atau destinasi. Misal mencari rute ke kota tujuan yang efisien ketika memilih beberapa rute alternatif yang tersedia seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, di mana titik awal ke titik akhir terdapat 3 alternatif rute. Rute destinasi dapat juga diilustrasikan sebagai jalur/lintasan menuju lokasi tangkapan ikan di laut.

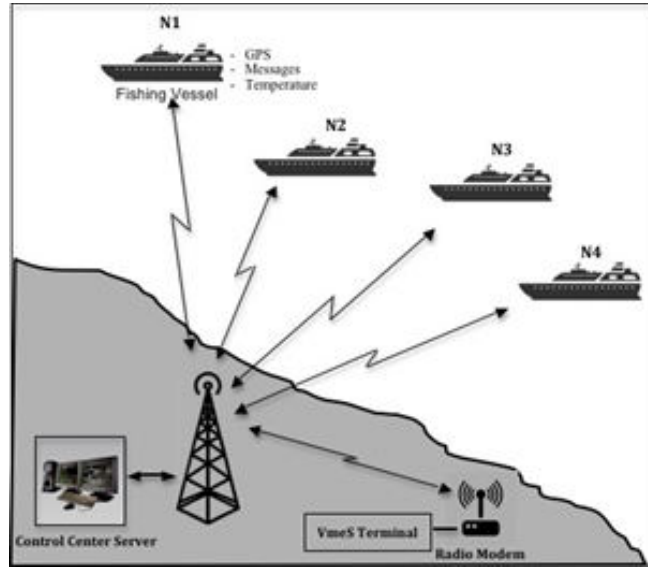


Gambar 2.1 Rute alternatif lokasi awal ke akhir

Rute trafik data adalah rute data/informasi yang dikirimkan dari pengirim (sumber) ke penerima (tujuan) melalui sebuah media komunikasi berupa *wired* (kabel) atau *wireless* (udara). Penentuan rute trafik data terkait erat dengan *routing*. *Routing* merupakan proses pertukaran informasi antar sumber dan tujuan, di mana proses ini meliputi mencari dan menentukan lintasan yang sesuai/layak, juga mengumpulkan informasi, memperbaiki lintasan yang terputus bahkan dapat mengidentifikasi dan mencegah serangan [26]. *Routing* meliputi proses *finding* dan *maintaining* lintasan antara sumber dan tujuan [27]. Pada proses *finding* terdapat proses penemuan rute (*route discovery*) dan pemilihan rute (*route selection*). Tujuan penemuan rute adalah mendapatkan rute alternatif yang tersedia untuk pengiriman informasi dari suatu sumber ke tujuan [28] dan memilih rute untuk sebagai lintasan pengiriman data/informasi. Penemuan dan pemilihan rute merupakan proses optimasi dan bertambah kompleks dengan berubahnya topologi jaringan, kualitas sinyal yang dikirim maupun yang diterima, dan pergerakan.

2.2 Jaringan Bergerak Maritim

Jaringan bergerak maritim terdiri atas kapal-kapal yang berkomunikasi antar mereka dan pusat *monitoring* kontrol/pengawasan di darat melalui media nirkabel. Adapun contoh jaringan bergerak maritim berbasis satelit adalah VMS, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1, sistem ini merupakan salah satu sistem pengawasan kapal perikanan dengan menggunakan peralatan tertentu untuk mengetahui pergerakan dan aktifitas kapal perikanan berbasis satelit. Contoh lain adalah *Vessel Messaging System* (VMeS). VMeS adalah sistem komunikasi data kapal penangkap ikan yang ditransmisikan pada kanal *High Frequency* (HF) atau *Very High Frequency* (VHF). Sistem ini terdiri atas sebuah pusat kontrol pesan (*base station*), modem radio HF/VHF, dan terminal pesan elektronik yang terpasang pada kapal penangkap ikan. Sistem ini dapat dilihat pada Gambar 2.2. Pesan yang ditransmisikan/dikirimkan dapat berupa informasi lokasi penangkapan ikan, kondisi bahan bakar, temperatur air laut, kadar garam, dan sinyal SOS untuk kapal penangkap ikan yang melanggar zone teritorial negara [29]. Sistem ini sangat membantu nelayan tanpa peralatan berbasis satelit.



Gambar 2.2 *Vessel messaging system* [29]

Konfigurasi dan pergerakan kapal yang tersebar pada suatu area tertentu dapat direpresentasikan sebagai sebuah jaringan statik maupun dinamik. Pada jaringan statik, kapal bergerak lambat serta *link* komunikasi antar kapal tetap dipertahankan status operasionalnya [30]. Sedangkan karakteristik jaringan dinamik adalah ketika sebuah kapal bergabung ataupun keluar meninggalkan kelompoknya, sehingga konektivitas antar kapal dapat terhubung atau putus, sehingga dapat terjadi koneksi baru dengan kapal yang lain [31].

Pada jaringan dinamik nirkabel, terdapat beberapa faktor yang menyebabkan konektivitas antar *node* terputus, yaitu:

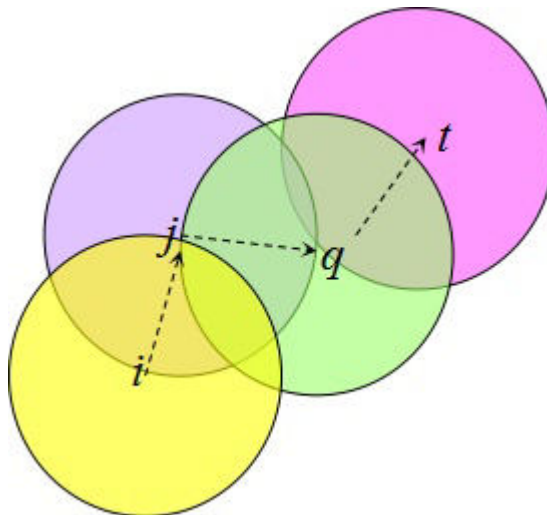
- Cakupan transmisi (*transmission range*) tiap perangkat bergerak (kapal) tidak dapat mencapai perangkat bergerak terdekat [32].
- Kondisi tiap kapal yang berbeda, yaitu dalam keadaan aktif (*on*) ataupun non-aktif, sehingga meski masih dalam cakupan transmisi, maka akan gagal untuk meneruskan paket data/informasi.
- Kondisi lingkungan sekitar kapal yang buruk, seperti pengaruh cuaca, yang dapat menyebabkan *power* sinyal tidak dapat diterima.

Jaringan dinamik dapat diterapkan pada jaringan bergerak maritim dengan konsisi kapal-kapal bergerak bebas/acak, dapat berkomunikasi ketika dalam kondisi aktif dan terputus dengan kapal lain ketika dalam kondisi *off* mati.

2.3 Model *Fixed Radius*

Sebuah jaringan dapat direpresentasikan dalam bentuk *graph* yang terhubung di antara *node-node* maupun tidak [30]. Dalam perkembangannya, aplikasi jaringan nirkabel telah diterapkan pada perangkat bergerak. Oleh karena itu, bentuk topologi dapat dimodelkan dalam bentuk *square grid* dan *fixed radius* [33]. Model *square grid* berguna untuk mempelajari model perkolasi sebagai perbandingan. Namun, model ini hanya mampu mempertimbangkan dengan maksimum *node degree* 4. Sebuah model umum yang digunakan untuk jaringan nirkabel bergerak adalah *fixed radius*. *Node-node* secara acak ditempatkan pada $m \times n$. Sebuah *link* l_{ij} terkoneksi *node* i dan j pada *graph* ketika jarak *Euclidean* antara *node* kurang dari radius R (persamaan 2.1). Model *fixed radius* sesuai dengan mobilitas *node* pada jaringan nirkabel bergerak, karena cakupan transmisi tertentu untuk mencapai *node* tetangganya serta realistik bentuk topologi (Gambar 2.3). Bila $\mathbf{q} = (q_1, q_2)$ dan $\mathbf{t} = (t_1, t_2)$, maka Jarak Euclidean \mathbf{q} dan \mathbf{t} dinyatakan dalam persamaan 2.1. Penerapan dalam jaringan bergerak maritim, kapal-kapal dapat berkomunikasi ketika berada dalam radius (R) kapal lainnya.

$$D(\mathbf{q}, \mathbf{t}) = \sqrt{(t_1 - q_1)^2 + (t_2 - q_2)^2} \leq R \quad (2.1)$$



Gambar 2.3 Model *fixed radius*

2.4 Algoritma Pencarian (*Searching Algorithm*)

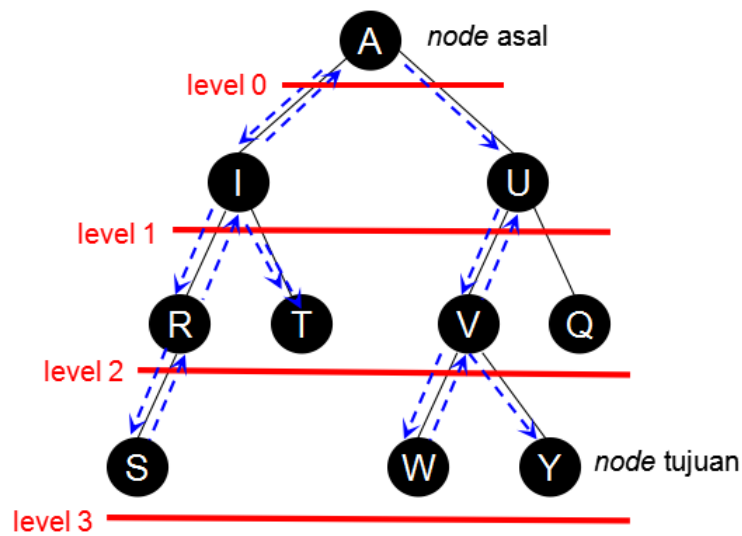
Algoritma pencarian terbagi dalam dua kelas, yaitu *blind (uninformed searching)* dan *heuristic (informed searching)*. Salah satu metode yang terdapat dalam *uninformed searching* adalah *Breadth First Search (BFS)* [34]. Metode ini dapat dijalankan pada representasi *Graph* untuk penemuan dan pemilihan rute pada jaringan *ad hoc network* dan tanpa memiliki pengetahuan domainnya [14] [15]. Karena tidak memiliki pengetahuan tentang domainnya, metode ini melakukan pencarian dengan cara berurutan (*sequential*).

2.4.1 *Depth First Search (DFS)*

DFS merupakan metode pencarian/penelusuran yang dimulai dari *node* asal (*root*) yang ditandai sebagai level 0 dan dilanjutkan pencarian ke arah kiri *node* asal level berikutnya ke arah bawah hingga sampai dasar. Bila belum menemukan tujuannya, maka dilanjutkan pada level 1 dan seterusnya [36]. Ilustrasi Gambar 2.4 menunjukkan proses pencarian DFS. Bermula dari *node* asal (A) melakukan penelusuran ke *node* I yaitu anak pada sisi kiri, di mana I masih memiliki anak cabang R dan T, dipilihlah R terlebih dahulu lalu menelusur ke S. Dari S kembali ke R lalu I dan dilanjutkan ke *node* T. Ternyata T tidak memiliki anak, maka akan balik ke A lagi dan dilanjutkan penelusuran pada sisi kanan. *Node* U menjadi penelusuran berikutnya, ternyata U memiliki anak V dan Q. Dipilihlah V dan dilanjutkan penelusuran ke W. Karena W adalah terakhir *node*, maka penelusuran balik ke V dan dilanjutkan ke Y. Penelusuran berhenti karena telah menemukan *node* yang dituju, yaitu Y. Lebih detail pseudo code DFS ditunjukkan pada Algoritma 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi algoritma pencarian [35]

<i>Search Algorithm</i>	
<i>Blind search</i>	<i>Heuristic search</i>
<ul style="list-style-type: none">• <i>Breadth First Search</i>• <i>Depth First Search</i>• <i>Uniform Cost Search</i>• <i>Depth Limited Search</i>• <i>Iterative Deepening Search</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Best First Search</i>• <i>Greedy Search</i>• <i>A* Search</i>• <i>Heuristic Path Algorithm</i>• <i>Iterative Deepening A*</i>



Gambar 2.4 *Depth first search*

Algoritma 2.1: *Depth First Search* [37]

Input: Graph $G=(V,E)$

Output: DFS tree

Mark each vertex in V with 0 as a mark of being “unvisited”

count $\leftarrow 0$

for each vertex v in V do

 if v is marked with 0

 dfs(v)

dfs(v)

count \leftarrow count +1

Mark v with count

For each vertex w in V adjacent to v do

 if w is marked with 0

 dfs(w)

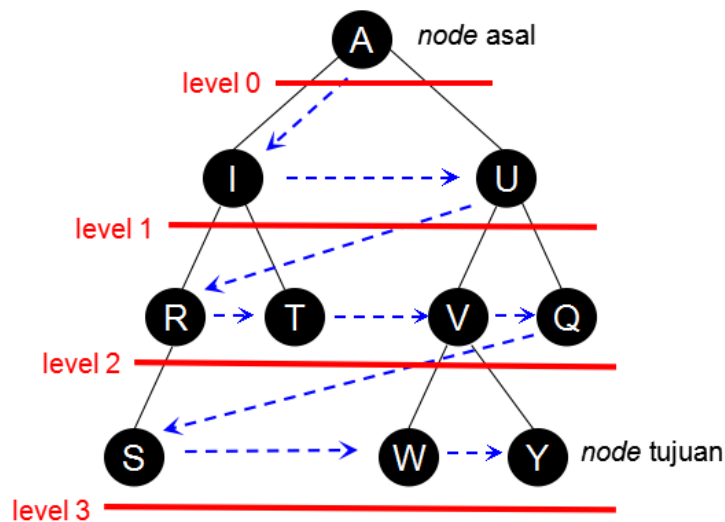
2.4.2 *Breadth First Search (BFS)*

BFS adalah algoritma yang bermula dari *node* terpilih (sumber atau asal) dan melintas *graph* tiap *layer* dalam mengeksplorasi *node-node* tetangganya yang terhubung secara langsung ke *node* asal. Adapun mekanisme BFS seperti berikut ini: [38] [39] [40] [41]

Sebuah jaringan dapat dimodelkan dalam bentuk *graph*, $G = (V,E)$, V menyatakan himpunan *node* (*vertex*) dan E adalah himpunan sisi (*edge*). Awalnya *node* asal

(A) dikunjungi, kemudian semua *node* tetangga (U_i) dari *node* asal dikunjungi. Langkah berikutnya, *node* dalam *list* yang direkam $\in U_i$ dikunjungi secara sekuensial. Langkah ini terus berlanjut hingga tidak ada lagi *node* yang dikunjungi. Seperti dalam Gambar 2.5, langkah BFS yaitu: A, I, U, R, T, V, Q, S, W dan Y. BFS menandai nilai level tiap *node*, *node* A sebagai level 0 atau *node* asal dan level *node* lain sesuai dengan jarak terhadap *node* A, misal *node* I dan U pada level 1 dan *node* S, W, Y pada level 3. Pencarian dilakukan hingga menemukan *node* tujuan (Y).

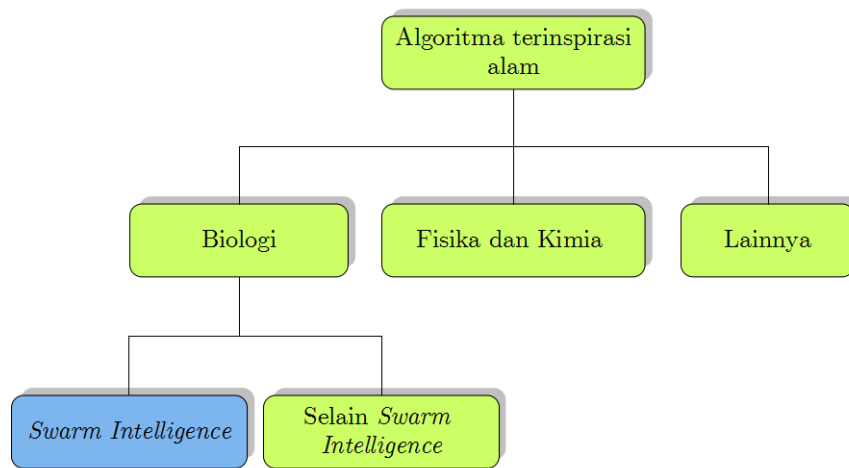
Karakteristik BFS adalah membuat *list* rekaman konektifitas semua *node* dalam sebuah jaringan. Properti ini menjadi hal yang signifikan untuk *routing* jaringan, karena lintasan terpendek dari *node* asal ke tujuan dapat dibangun dan dideteksi [42]. BFS memiliki kemampuan mencari lintasan di antara *node-node*, efisien dalam penggunaan memori dan mudah diimplementasikan [43] [44].



Gambar 2.5 Breadth first search

2.5 Algoritma Swarm Intelligence

Swarm Intelligence (SI) adalah metode pendekatan optimasi metaheuristik yang terinspirasi dari yang kebanyakan terinspirasi pada alam (*nature-inspired*), di mana keunggulannya mampu *sharing* informasi di antara *agent*, sehingga meningkatkan pengetahuan *agent* dan dapat mencapai tujuan dengan cepat. Kecerdasan dapat ditingkatkan dengan *sharing* informasi antar *agent*.



Gambar 2.6 Klasifikasi algoritma terinspirasi alam (*nature-inspired*)

Gambar 2.6 menunjukkan klasifikasi algoritma yang terinspirasi dari alam. Pada algoritma biologi, terbagi dalam dua kategori yaitu *swarm intelligence* (SI) dan selain SI. SI merupakan algoritma yang memperhatikan tentang perilaku beberapa atau kelompok atau kawanan individu (*agent*) makhluk hidup yang mengikuti beberapa aturan sederhana [45]. Banyak algoritma telah dikembangkan pada SI.

Karakteristik utama dari algoritma SI adalah: [7]

- berbagi informasi di antara banyak *agent*
- *agent* memiliki kemampuan berorganisasi sendiri dan berevolusi
- sangat efisien untuk pembelajaran kelompok
- dapat dengan mudah diparalelkan secara praktis dan masalah *real-time*

Beberapa algoritma yang dibahas adalah *gossip*, *firefly*, *genetic* dan *particle swarm optimization*. Permasalahan optimasi dapat diselesaikan secara matematis, secara umum dinyatakan sebagai: [7]

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} f_i(x), (i=1,2,\dots,M) \quad (2.2)$$

$$\text{subject to } h_j(x) = 0, (j=1,2,\dots,J) \quad (2.3)$$

$$g_k(x) \leq 0, (k = 1,2,\dots,K) \quad (2.4)$$

dengan M adalah banyaknya biaya atau fungsi objektif untuk dioptimasi $f_i(x)$ yaitu fungsi objektif yang merepresentasikan tujuan.

2.5.1 Gossip Algorithm

Istilah *gossip* memiliki pengertian yang sama dengan epidemik. Ide *gossip* ini awal mulanya digunakan untuk persebaran *update* pada replika *database* di sistem terdistribusi, yang kemudian berkembang dalam komunitas algoritma. Jadi persebaran informasinya terjadi ketika sebuah *node* secara acak memilih anggota lainnya yang mana informasi ini dapat dikomunikasikan.

Algoritma *gossip* ini terhubung dekat dengan SI, karena algoritma ini diperoleh dari model persebaran epidemik dan *gossip* informasi di antara manusia. Algoritma ini adalah pendekatan *bottom-up* yang didasarkan pada perubahan jaringan biologi, pertukaran informasi, dan perilaku terorganisasi yang independen. Teknik *gossip* dapat bermanfaat pada arsitektur SI, contoh: ANSI suatu protokol *routing unicast* untuk jaringan *ad hoc*. Saat ini *gossip* banyak diterapkan pada jaringan *wireless sensor* [46] [47] [48].

Algoritma *gossip* juga dikenal sebagai algoritma probabilitas, di mana paket data ditransmisikan berdasarkan probabilitas transmisi ulang. Probabilitas transmisi ulang ini disebut probabilitas *gossiping* (p), dapat bernilai tetap, dinamis dan adaptif [49]. Terdapat tiga varian dasar algoritma *gossip*, yaitu *push*, *pull*, dan *push&pull*: [50]

- *Push*: tiap *node* yang memiliki informasi secara acak memilih *node* lain dan mengirimkan pesannya.
- *Pull*: tiap *node* yang tidak memiliki informasi secara acak memilih *node* lain dan bila *node* terpilih memiliki informasi, maka ia menerima pesannya.
- *Push&pull*: semua *node* memilih *node* lain secara acak dan bertukar informasi bila *node* tersebut memiliki informasi.

Adapun algoritma Gossip secara umum ditunjukkan pada Algoritma 2.2. Penyebaran informasi pada jaringan skala besar juga berdasarkan pada Algoritma 2.2. Awalnya sumber mengirim pesan ke semua tetangganya (*line 2* dan *3*). Sebuah *site* mengirimkan dan retransmisi pesan yang diterima sebelumnya yang belum diterimanya; bila tidak, pesan dibuang. *Site* yang menerima pesan setidaknya satu kali dinyatakan sebagai *site* yang terinfeksi [51].

Algoritma 2.2: *Gossip* umum

```

1 Broadcast ( $\langle msg \rangle$ )
2   for each  $s_j \in \Lambda_i$  do
3     Send ( $\langle msg \rangle, s_j$ )

4 Receive
5   if  $msg \notin msgHistory$  then
6     Deliver ( $\langle msg \rangle$ ) ;
7      $msgHistory \leftarrow msgHistory \cup \{\langle msg \rangle\}$ ;
8   Gossip ( $\langle msg \rangle, parameters$ );

```

Algoritma *gossip* adalah algoritma yang sederhana. Sebuah sumber mengirimkan *route request* dengan probabilitas 1. Ketika sebuah *node* pertama menerima *route request*, dengan probabilitas p juga akan *broadcast request* ke tetangganya dan dengan probabilitas $1-p$ akan membuang *request*; bila *node* menerima *route request* yang sama lagi maka akan dibuang. Jadi, sebuah *node broadcast route request* yang diterima paling banyak hanya sekali. Protokol ini disebut GOSSIP1(p). GOSSIP1 memiliki sebuah masalah untuk kondisi awal. Bila sumber memiliki beberapa tetangga, terdapat kemungkinan tidak ada *node* yang akan *gossip* dan *gossip* akan mati. Untuk memastikan hal ini tidak terjadi, maka *gossip* dengan probabilitas 1 untuk k hop pertama sebelum berlanjut untuk *gossip* dengan probabilitas p , disebut protokol modifikasi GOSSIP1(p, k) [52]. Untuk optimasi GOSSIP1 dapat dilakukan sebagai berikut. Bila sebuah *node* dengan n tetangga menerima sebuah pesan dan tidak *broadcast* pesan tersebut, namun kemudian tidak menerima pesan dari setidaknya m tetangga dalam periode waktu, maka akan *broadcast* pesan pada semua tetangganya. Bila m dipilih terlalu besar, maka akan berakhir dengan terlalu banyak pesan. Sebuah *node* yang awalnya tidak *broadcast* pesan yang diterima, tapi tidak mendapat pesan dari paling tidak m *node* lain dalam periode *timeout*, maka akan segera *broadcast* pesan setelah periode *timeout* [53].

Algoritma *gossip* dapat digunakan pada beberapa hal, seperti: [54]

- Protokol persebaran informasi (*information dissemination*): dalam protokol persebaran, menggunakan *gossip* untuk beroperasi secara *multicast*, di mana tiap *node* melaporkan secara periodik.

- Keanggotaan (*membership*): bermula dari protokol *bootstrap* – di mana protokol dengan kemampuannya sendiri, sebuah *node* dapat bergabung atau meninggalkan kelompoknya, serta bagaimana memulainya, contoh: bila terdapat seluruh *node* pada sebuah jaringan yang stabil, kita ambil secara acak, lalu menelusuri proses sebuah *node* yang telah mendengar sesuatu hal dan proses *node* lain mendengar hal tersebut dari mana. Keanggotaan ini menggunakan *push gossip* untuk menyebarkan informasi.

Terdapat beberapa hal yang membedakan antara protokol *gossip* dan non-*gossip*: [54]

- Pemilihan rekan/sejawat harus acak
- Hanya informasi lokal yang tersedia untuk semua *node*
- Semua *node* menjalankan protokol yang sama

Adapun kelebihan algoritma *gossip* adalah sebagai berikut: [55]

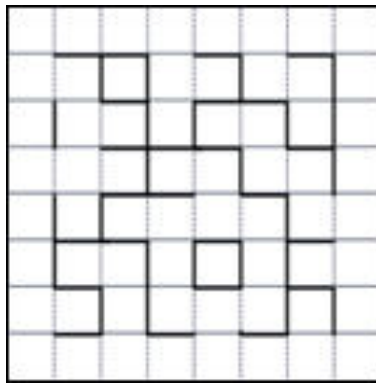
- Sederhana, penerapannya mudah karena algoritma ini memilih terlebih dahulu pasangannya sebelum mengirimkan informasi/data.
- *Convergence speed* cepat, dapat secara otomatis mengatur dirinya.
- Kokoh terhadap perubahan dan/ kegagalan dalam jaringan.

Sedangkan kekurangan *gossip* adalah pada praktiknya tidak diketahui ukuran sebuah jaringan, sehingga tidak tahu berapa banyak putaran agar nilai rata-rata estimasi mendekati nilai rata-rata real [56].

Penelitian yang berhubungan dengan algoritma *Gossip* pada proses penemuan rute diikhtisarkan pada Tabel 2.2. Dari beberapa penelitian yang membahas tentang *route discovery*, algoritma *Gossip* diaplikasikan sebagai alternatif solusi untuk menyelesaikan beberapa masalah. Usulan baru proses *routing*, model matematis dan perhitungan probabilitas retransmisi juga telah dikembangkan. Selain itu analisis, simulasi serta eksperimen nyata, semua dilakukan untuk mencapai tujuan mendapatkan rute terpendek, jumlah retransmisi yang semakin berkurang, dan metrik *quality of service* (QOS) yang semakin baik (misal: *delay*, *throughput*, *packet delivery ratio*). Sedangkan evaluasi kinerja implementasi algoritma *Gossip* juga mendapat perhatian, khususnya pada pengukuran jumlah transmisi dan kemampuan mencapai *node* tujuan.

Tabel 2.2 Ikhtisar penelitian *route discovery* dengan *gossip*

No.	Hasil Penelitian
1	Mekanisme broadcast RREQ pada protokol <i>routing</i> AODV yang menggunakan <i>received signal strength</i> (RSS) pada algoritma <i>Gossip</i> (AODV-RG). Metrik pengukuran berupa <i>packet delivery ratio</i> , <i>throughput</i> , dan <i>end-to-end delay</i> [59].
2	Model matematis baru untuk menghitung probabilitas retransmisi pada algoritma penemuan rute <i>dynamic noise-dependent probabilistic</i> (DNDDP) dan bertujuan mengurangi jumlah retransmisi secara signifikan [60].
3	Melakukan eksperimen secara nyata dengan mengukur beberapa metrik dissimilarity pada <i>node</i> yang sesuai untuk mendapatkan probabilitas <i>forwarding</i> pada <i>broadcasting</i> probabilistik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pendekatan <i>p-persistence</i> merupakan pendekatan terbaik dibandingkan <i>Gossip1</i> dan <i>border node retransmission</i> (BNR) [61].
4	Evaluasi kinerja beberapa algoritma <i>Gossip</i> untuk diseminasi pesan pada topologi jaringan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa <i>probability edge gossip</i> (PEG) dan <i>probability broadcast gossip</i> (PBG) sangat terpengaruh oleh topologi distribusi derajat <i>node</i> . Sedangkan <i>fixed fanout gossip</i> (FFG) tidak rentan terhadap topologi semacam itu [57].
5	Analisis kinerja algoritma <i>location-aided routing</i> dan <i>probabilistic</i> (LAR-1P) melalui simulasi, di mana LAR-1P lebih efektif dibanding LAR-1 pada metrik jumlah retransmisi dan kemampuan mencapai <i>node</i> tujuan pada <i>zone</i> dengan kepadatan tinggi [58]



Gambar 2.7 *Bond percolation* [33]

Implementasi algoritma *Gossip* sangat dipengaruhi oleh fungsi *gossip* yang disebut juga sebagai *Gossip probability* yang bernilai antara 0 dan 1. Probabilitas ini didasarkan pada teori perkolasi dan *graph* acak. Teori perkolasi mempelajari

tentang konektivitas secara geografis, yang berarti dua lokasi terkoneksi bila dekat satu sama lain. Teori ini juga menjelaskan dua model pada dua dimensi persegi, yaitu *site* dan *bond percolation* [62]. Pada model *bond percolation* (Gambar 2.7), tiap *edge* terbuka (tanda tebal) adalah sebuah probabilitas p_c , di mana probabilitas ini yang membolehkan sebuah *node* mencapai *node* tetangganya. Berdasarkan studi terdahulu, nilai p_c sekitar 0.583 [33] [63] [64].

2.5.2 Firefly Algorithm (FA)

FA adalah metode optimasi global yang dikembangkan oleh Yang [65]. Algoritma ini meniru mekanisme perilaku kawanan kunang-kunang dan berbagi informasi dengan menggunakan kedipan cahaya. Terdapat sekitar dua ribu spesies kunang-kunang dan kebanyakan memiliki ritme kedipan cahaya yang pendek. Adapun perilaku kunang-kunang dinyatakan dalam aturan: [7]

- Semua kunang-kunang adalah *unisex* sehingga satu kunang-kunang akan tertarik dengan lainnya;
- Ketertarikan (*attractiveness*) antar kunang-kunang sebanding dengan tingkat kecerahan, sehingga untuk dua kunang-kunang yang kurang cerah/terang akan bergerak menuju ke kunang-kunang yang lebih cerah sinarnya. Ketertarikan menurun sebanding dengan semakin jauhnya jarak antar dua kunang-kunang. Bila tidak ada yang lebih cerah di antara kunang-kunang, maka ia akan bergerak acak.
- Kecerahan (*brightness*) kunang-kunang dipengaruhi atau ditentukan oleh luas/area fungsi objektif. Untuk masalah maksimum, kecerahan kunang-kunang dapat sebanding dengan nilai fungsi objektif.

Pergerakan seekor kunang-kunang i yang tertarik pada yang lainnya yang lebih cerah sinarnya j ditentukan dengan:

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha (rand - 0.5) \quad (2.5)$$

dimana α merupakan parameter acak yaitu $\alpha \in [0, 1]$, parameter ini merepresentasikan *noise* yang ada di lingkungan dan berdampak pada transmisi

cahaya. Sedangkan *rand* adalah angka acak yang berasal dari *uniform distribution* dan (*rand*-0.5) berada dalam cakupan [-0.5, 0.5]. Sedangkan β_0 selalu ditetapkan dengan nilai 1. Parameter γ menyatakan variasi ketertarikan dan nilainya signifikan dalam menentukan kecepatan konvergen dan bagaimana algoritma FA berperilaku. Dalam kebanyakan aplikasi bervariasi dari 0,01 hingga 100. Jarak antar kunang-kunang dinyatakan sebagai r_{ij} :

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| \quad (2.6)$$

dimana x_i merepresentasikan posisi kunang-kunang i .

FA berhasil diimplementasikan pada banyak bidang, seperti pendukung dan pembuat keputusan, teknik, ilmu komputer dan komunikasi. Adapun pseudo code FA diperlihatkan pada Algoritma 2.3. Beberapa aplikasi yang menggunakan FA ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Algoritma 2.3: *Pseudo code* FA

input : n jumlah kunang-kunang
 N_{iter} jumlah iterasi untuk optimasi
 γ parameter ketertarikan
 α noise lingkungan

output : posisi kunang-kunang yang optimal dan *fitness*-nya

Inisialisasi populasi posisi n kunang-kunang secara acak

Cari solusi terbaik berdasarkan *fitness*;

while kriteria tidak terpenuhi **do**

for tiap kunang-kunang i **do**

for tiap kunang-kunang j **do**

if kunang-kunang j lebih terang dari kunang-kunang i **then**

 kunang-kunang i bergerak menuju j menggunakan persamaan (2.3)

else

end

 Evaluasi posisi tiap kunang-kunang

end

Algoritma 2.3 memperlihatkan FA dengan inisialisasi populasi banyaknya kunang-kunang n . Kemudian menghitung *fitness* dan mencari solusi cara dengan bergerak menuju cahaya yang intensitasnya lebih terang dibanding lainnya.

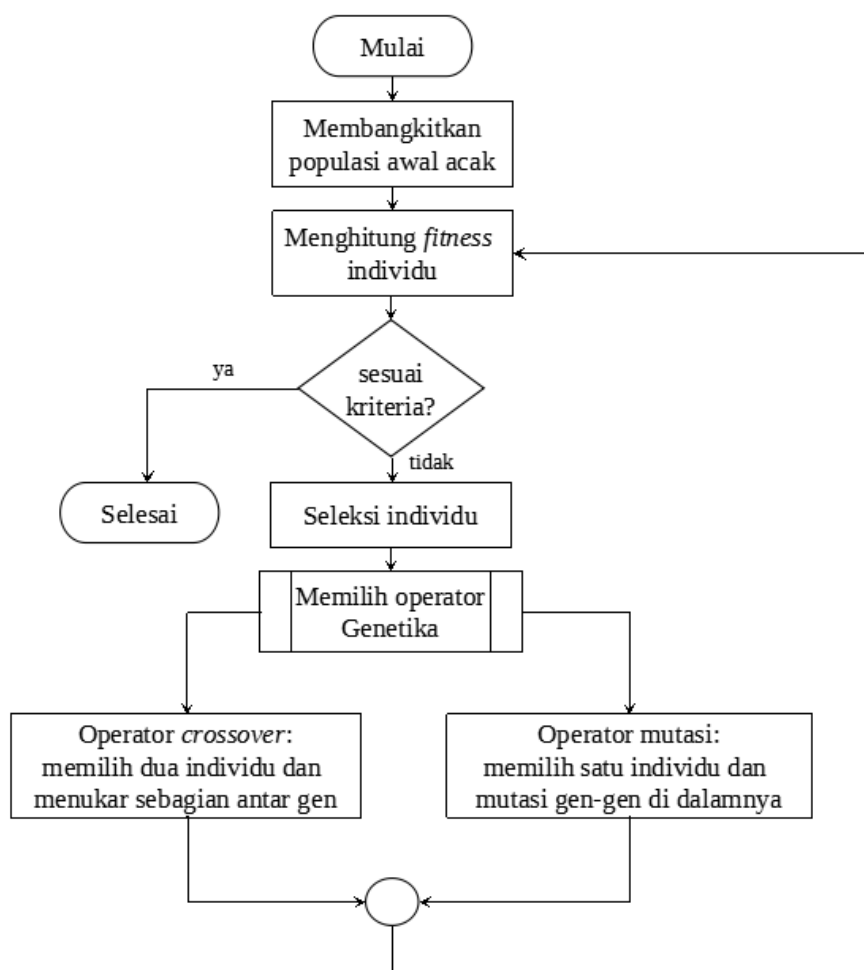
Tabel 2.3 Penelitian optimasi FA

No.	Aplikasi	Fungsi <i>Fitness</i>
1	<i>Traveling salesman problem</i> (TSP)	Meminimumkan panjang dari tur [8]
2	Seleksi <i>supplier</i>	Memilih <i>supplier</i> yang menyediakan kuantitas biaya transportasi minimum dan harga produk [68]
3	Seleksi <i>cluster head</i>	Mengurangi atau menghemat konsumsi daya dan waktu hidup WSN [62]
4	<i>Cloud computing</i>	Memaksimumkan penggunaan sumber daya dan menyediakan beban yang seimbang di antara beberapa sumber daya di <i>cloud server</i> [66]
5	Perencanaan jalur UCAV	Meminimumkan ancaman dan konsumsi bahan bakar [67]

2.5.3 Genetic Algorithm (GA)

Algoritma genetika adalah algoritma optimasi yang mengacu pada proses seleksi alam. Konsep dasar algorithm ini adalah meniru konsep bertahan hidup; yang mensimulasikan proses yang diamati pada sistem alamiah di mana yang kuat cenderung dapat beradaptasi dan bertahan hidup, sedangkan yang lemah cenderung binasa [69]. GA merupakan pendekatan yang berbasis populasi di mana anggota populasi diurut/diperingkat berdasarkan *fitness* solusi. Populasi dapat direpresentasikan sebagai sebuah kumpulan *string* (disebut sebagai kromosom). Pada dasarnya, GA memiliki 5 komponen utama, yaitu: pembangkit angka acak (random number generator), unit evaluasi *fitness*, proses reproduksi, proses *crossover* dan operasi mutasi. Reproduksi memilih kandidat yang terbaik, sedangkan *crossover* adalah proses kombinasi kromosom terbaik dan meloloskan gen yang *superior* ke generasi berikutnya. Mutasi adalah mengubah/menukar gen-gen dalam kromosom. Gambar 2.8 memperlihatkan diagram alir algoritma Genetika. Adapun proses kerja GA bermula dengan menentukan populasi awal baik secara acak atau dengan menggunakan beberapa teknik heuristik. Fungsi

fitness digunakan untuk mengevaluasi anggota-anggota populasi dan kemudian mereka digolongkan berdasarkan kinerja. Saat semua anggota populasi telah dievaluasi, peringkat bawah kromosom dihilangkan dan populasi yang tersisa digunakan untuk reproduksi. Skema lain yang dapat digunakan adalah menggunakan seleksi *pseudo-random*, yang membolehkan peringkat bawah kromosom memiliki kesempatan terpilih saat reproduksi. Langkah *crossover* secara acak memilih dua anggota dari populasi yang tersisa, menukarnya dan memasangkannya. Langkah terakhir adalah mutasi, di mana operator mutasi secara acak merubah susunan gen pada kromosom. *Elitism* digunakan untuk mencegah solusi terbaik populasi dari kehancuran selama proses *crossover* dan mutasi. Evaluasi dan generasi populasi yang baru akan berlanjut hingga maksimum angka generasi tercapai atau solusi optimum ditemukan.



Gambar 2.8 Diagram alir algoritma Genetika [69]

Tabel 2.4 Hasil penelitian optimasi GA

No.	Aplikasi	Hasil
1	Jaringan	Menentukan k lintasan terpendek dari satu sumber ke beberapa tujuan pada dua bentuk topologi jaringan [70]
2	Logistik	Menyelesaikan masalah optimasi rute untuk transportasi <i>multi</i> moda [71]
3	Robotika	Membuat perencanaan lintasan pada robot ikan dengan menggunakan metode grid [72] dan peruntukan robot pada lingkungan yang tidak homogen [73]
4	Bisnis	Mengusulkan konfigurasi ulang layanan IT yang bersifat adaptif [74]
5	Manufaktur	Mengembangkan model matematis dengan mempertimbangkan waktu alir antar mesin, waktu pemrosesan dan <i>throughput plant</i> [75]

GA memiliki keunggulanya pada pengaturan parameter yang terbatas dan menginisialisasi dirinya dari solusi yang mungkin namun bukan solusi tunggal, sedangkan salah satu kelemahan utamanya adalah konvergensi yang cenderung kurang cepat terhadap nilai optimal karena proses *crossover* dan mutasi bersifat acak [69]. Aplikasi GA dalam beberapa bidang ditunjukkan pada Tabel 2.4.

2.5.4 Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO merupakan algoritma metaheuristik yang awalnya diusulkan oleh Kennedy dan Eberhart tahun 1995. Algoritma ini mensimulasikan perilaku kawanan burung yang terbang bersama atau sekelompok ikan pada ruang multi dimensi untuk pencarian beberapa tempat optimum, dengan mengatur pergerakan dan jarak untuk pencarian yang terbaik. PSO serupa dengan GA yang merupakan metode komputasi evolusioner dan berbasis populasi. Istilah *swarm* di sini merujuk pada *particle* yang diinisialisasi secara acak dan diterapkan pencarian optimal dengan *update*. Terdapat dua pendekatan PSO, yaitu kognitif dan sosial [76]. Istilah *particle* (partikel) merepresentasikan sebagai *node* dalam jaringan di

mana semua partikel bergerak dalam ruang dimensi M , untuk mencari optimal global. Sedangkan istilah *swarm* adalah kelompok atau kawanan yang direpresentasikan sebagai *node-node* sebuah jaringan. Dalam tiap iterasinya, posisi tiap partikel diperbarui berdasarkan tiga faktor: [77]

- pergerakan dan arahnya sendiri
- posisi sebelumnya yang terbaik (berdasarkan pengalaman)
- posisi semua partikel sebelumnya yang terbaik (berdasarkan komunikasi dengan tetangganya)

Berikut beberapa penjelasan elemen PSO: [76] [77]

- *Particle* — bila sebuah kawanan memiliki partikel n , pada ruang dimensi M , maka tiap partikel posisinya dapat dinyatakan sebagai:

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM}) (i=1, 2, \dots, n) \quad (2.7)$$

dan kecepatannya dinyatakan sebagai:

$$K_i = (k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{iM}) (i=1, 2, \dots, n) \quad (2.8)$$

- *Local Best* (p_{best}) — posisi terbaik partikel di antara semua posisi yang dikunjungi.
- *Global Best* (g_{best}) — posisi di mana *fitness* terbaik tercapai di antara semua partikel yang dikunjungi.
- *Position update* — posisi tiap partikel diperbarui dengan menambahkan vektor kecepatan:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + k_i^{t+1} \quad (2.9)$$

Agar terhindar dari posisi partikel yang tidak layak, posisi awal dan yang diperbarui harus sesuai pada batas ruang pencarian $[X^{\min}, X^{\max}]$. Tiap posisi partikel yang berada di atas ruang pencarian tersebut, dapat disesuaikan dengan:

$$x_{ij} = \begin{cases} X^{\min} & \text{if } x_{ij} < X^{\min} \\ X^{\max} & \text{if } x_{ij} > X^{\max} \end{cases} \quad (2.10)$$

- *Velocity update* — kecepatan masing-masing partikel diperbarui sesuai dengan posisi terbaik mereka dan posisi terbaik yang diketahui semua partikel dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v_i^{t+1} = \omega \cdot v_i^t + u_1 \cdot rand_1() \cdot (p_i^t - x_i^t) + u_2 \cdot rand_2() \cdot (p_g^t - x_i^t) \quad (2.11)$$

dengan ω adalah *inertia weight*, u_1 dan u_2 adalah konstanta yang disebut koefisien kepercayaan kognitif, umumnya bernilai 2. Bobot inersia (*inertia weight*) merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi pergerakan yang diinduksi dari anggota kelompok. Nilai bobot inersia berkisar antara 0 dan 1. Mengacu pada studi empiris yang telah dilakukan, pada nilai 0.9 memiliki nilai *error* yang paling kecil [78]. Sedangkan fungsi $rand_1()$ dan $rand_2()$ dapat membangkitkan angka acak antara 0 dan 1. x_i^t adalah posisi partikel ke- i pada iterasi t . p_i^t adalah posisi terbaik lokal ketika partikel ke- i telah mencapai iterasi t dan p_g^t adalah posisi terbaik global semua partikel yang mencapai iterasi t . Kecepatan partikel pada posisi saat ini juga harus dibatasi untuk mencegah partikel keluar dari ruang pencarian. Jadi kecepatan harus terbatas pada $[-K^{max}, K^{max}]$ yang didefinisikan sebagai:

$$K^{max} = L \cdot X^{max} (0 < L \leq 1) \quad (2.12)$$

Tiap kecepatan partikel di atas ruang $[-K^{max}, K^{max}]$ dapat disesuaikan dengan:

$$K_{ij} = \begin{cases} -K^{max} & \text{if } k_{ij} < -K^{max} \\ K^{max} & \text{if } k_{ij} > K^{max} \end{cases} \quad (2.13)$$

Sedangkan algoritma PSO dapat dijelaskan pada Algoritma 2.4. Pada algoritma tersebut, inisialisasi dilakukan dengan mengetahui jumlah partikel/*agent*, banyak iterasi, nilai ω , u_1 , dan u_2 . Lalu menghitung *fitness* tiap partikel dan dibandingkan dengan *fitness* partikel lain di sekitarnya. Bila *fitness* partikel lebih baik dari *fitness* lokal (p_{best}), maka histori akan diperbarui dengan yang baru. Kemudian memilih partikel dengan *fitness* terbaik dari semua partikel sebagai g_{best} . Kecepatan partikel dihitung dengan persamaan 2.12 dan memperbarui posisi partikel dengan persamaan 2.10. Proses ini dilakukan sebanyak iterasi yang diinginkan.

Algoritma 2.4: Pseudo code PSO [76]*input* : n banyak partikel $NIter$ jumlah iterasi untuk optimasi ω berat inersia u_1, u_2 koefisien kepercayaan kognitif*output* : p_{best} dan g_{best} partikelInisialisasi populasi posisi n partikel secara acak**while** (ukuran populasi) **do** hitung *fitness* **if** nilai *fitness* lebih baik dari p_{best} histori **then** perbarui p_{best} dengan p_{best} terbaru **else** **end**Pilih partikel dengan nilai *fitness* terbaik dari semua partikel sebagai g_{best} **while** kriteria maksimum iterasi atau minimum *error* belum tercapai **do** **for** tiap partikel **do**

hitung kecepatan partikel dengan persamaan 2.12

perbarui posisi partikel dengan persamaan 2.10

end

Beberapa hasil penelitian dengan implementasi pendekatan PSO dirangkum dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Hasil penelitian optimasi PSO

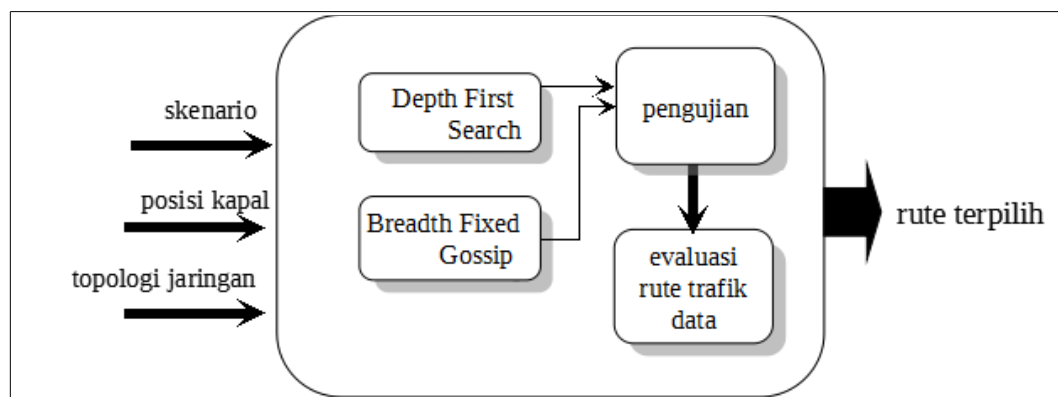
No.	Aplikasi	Hasil
1	Sistem Tenaga listrik	Meminimumkan rugi-rugi daya dengan menerapkan strategi elang [79]
2	WSN	Mendapatkan posisi terbaik <i>node</i> sensor agar konektivitas menjadi lebih baik [80]; mengusulkan mekanisme <i>clustering</i> untuk optimasi energi [81]
3	VANET	Melokalisasi jaringan untuk mendapatkan keputusan navigasi sehingga mengurangi <i>congestion</i> dan <i>delay</i> [82]
4	Riset Operasi	Mengusulkan model penjadwalan dengan memperbaiki standar PSO dan mengenalkan mekanisme mutasi yang sederhana dan metode bobot inersia <i>self-adapting</i> [83]
5	Medis	Membangun sistem pembuat keputusan untuk identifikasi penyakit (kanker dan ginjal) [84]

BAB 3

PEMODELAN OPTIMASI RUTE TRAFIK DATA BERBASIS ALGORITMA *BLIND SEARCH* DAN *GOSSIP*

3.1 *Framework* Optimasi Rute Trafik Data *Blind Search* dan *Gossip*

Penemuan dan pemilihan rute pada jaringan nirkabel bergerak maritim menjadi fokus perhatian dalam distribusi informasi/pesan dari sebuah kapal sumber informasi ke kapal lainnya sebagai tujuan. Pengetahuan akan posisi kapal dalam jaringan menjadi sangat penting untuk mengetahui keberadaan anggota lain terdekat maupun anggota yang menjadi tujuan distribusi pesan. Bila pengetahuan akan posisi tersebut tidak ada, maka implementasi algoritma pencarian menjadi salah satu pilihan, seperti DFS dan BFS. Untuk eksplorasi lebih lanjut, maka perlu dibuat *framework* penemuan dan pemilihan rute seperti diperlihatkan pada Gambar 3.1. Beberapa data masukan seperti posisi kapal, skenario, simulasi, serta model cakupan transmisi setiap kapal diperlukan dalam optimasi yang melibatkan algoritma DFS, BFS, dan *Gossip*, di mana proses ini dilakukan pada *tool* simulasi dan hasilnya adalah sebuah rute terpilih untuk distribusi pesan. Selanjutnya mekanisme penemuan rute yang melibatkan BFS, model *fixed radius*, dan *Gossip* disebut *Breadth Fixed Gossip* (BFG).



Gambar 3.1 *Framework* optimasi rute *blind search* dan *Gossip*

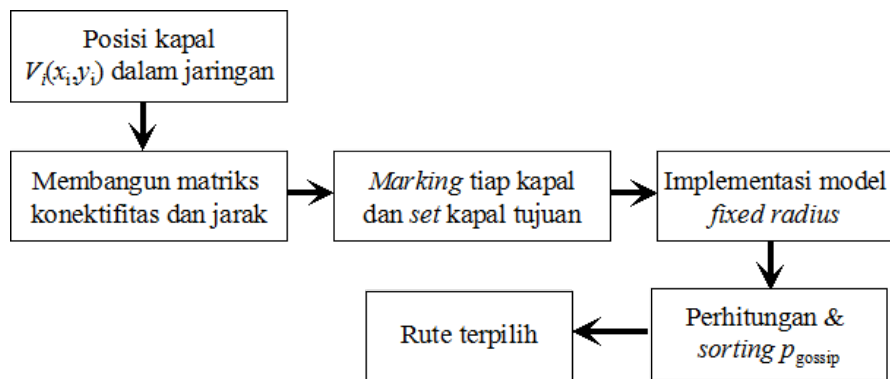
3.2 Pemodelan Optimasi Rute Trafik Data *Breadth First Search* dan *Gossip* pada Jaringan Bergerak Maritim

Proses pemilihan rute ini ditentukan dari beberapa pilihan bergantung dari metode yang diaplikasikan. Dengan kondisi yang kurang menguntungkan dan ketiadaan informasi tentang kapal dalam sebuah jaringan, maka implementasi DFS dan BFS sebagai metode *blind/uninformed search* menjadi logis. Algoritma *Gossip* digunakan sebagai metode *broadcast* yang efisien agar kapal-kapal di sekitar kapal sumber tidak berulang mengirim pesan yang sama.

Adapun pemodelan optimasi rute trafik data dengan menggunakan BFG sebagai berikut:

$$\arg \min_i Z(x_i) = d(x_j) + \sum_{i=1}^j D(x_{ij}) \quad (3.1)$$

dengan $d(x_j)$ menyatakan jarak antara kapal yang terpilih ke kapal tujuan j , serta $D(x_{ij})$ menyatakan jarak kapal i ke kapal tujuan j . Optimasi rute trafik data *Breadth Fixed Gossip* ditunjukkan pada blok diagram Gambar 3.2. Optimasi Gambar 3.2 mengacu pada diagram alir optimasi pada jaringan *ad hoc* [85]. Optimasi pada jaringan bergerak maritim yang meliputi masukan posisi kapal, membangun matriks konektifitas dan jarak pada semua kapal, *marking* tiap kapal dan menentukan kapal tujuan, implementasi model *fixed radius*, perhitungan p_{gossip} dan seleksi rute.

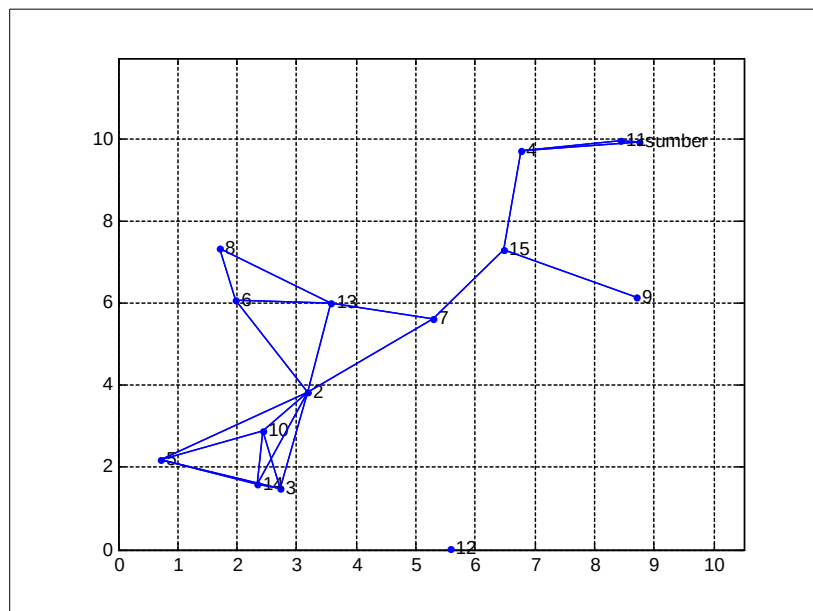


Gambar 3.2 Optimasi rute trafik data *Breadth Fixed Gossip*

Pada jaringan bergerak maritim, kapal V_i berada pada koordinat (x,y) yang dapat diketahui secara langsung melalui *Global Positioning System* (GPS) atau data dari pusat *monitoring* yang berada di darat. Area jaringan bergerak maritim dinyatakan dalam beberapa ukuran, 10×10 km yaitu representasi 100 km^2 yang bisa diasumsikan seperti Selat Madura, 50×50 km representasi 250 km^2 seperti pada kondisi Selat Bali dan 100×100 km representasi 10000 km^2 seperti area pantai pelabuhan Tamperan Pacitan Jawa Timur. Sedangkan cakupan transmisi ($Tx \text{ range}$) kecil sebuah kapal diwakili dengan $1 - 20$ km, $Tx \text{ range}$ sedang mencakup $30 - 40$ km, dan $Tx \text{ range}$ besar terwakili 50 km.

3.3 Matriks Konektifitas dan Jarak

Ketika sejumlah kapal sebanyak 15 tersebar secara acak pada sebuah area tertentu misal 10×10 km. Konfigurasi kapal-kapal tersebar seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3. Semua kapal dalam jaringan memiliki cakupan transmisi ($Tx \text{ range}$) 3 km yang sama, karena asumsi kapal-kapal memiliki daya dan bobot yang sama < 30 GT. Kapal-kapal tersebar dari posisi koordinat $(2,1)$ hingga $(10,10)$ seperti kondisi real tersebar acak.



Gambar 3.3 Tampilan persebaran kapal pada area 10×10 km

Mengacu pada Gambar 3.3, kapal V_1 akan mengirimkan informasi ke kapal V_{14} . Sebelum mengirimkan informasi, banyak pilihan rute yang tersedia menuju V_{14} . Oleh karena itu, membangun matriks konektifitas antar kapal yang dapat diketahui (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Matriks konektifitas antar kapal

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	...	V_{15}
V_1	1	0	0	1	0	...	1
V_2	0	1	1	0	1	...	1
V_3	0	1	1	0	1	...	0
V_4	1	0	0	1	0	...	1
V_5	0	1	1	0	1	...	0
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
V_{15}	1	1	0	1	0	...	1

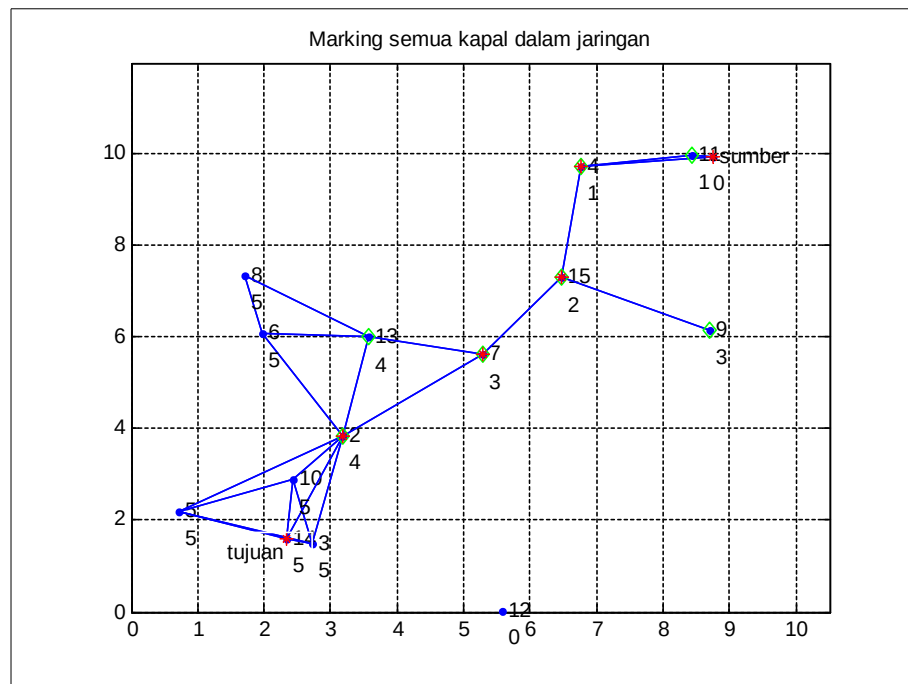
Tabel 3.2 Matriks jarak antar kapal (km)

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	...	V_{15}
V_1	0	8.2482	10.3732	1.9977	11.1610	...	3.48
V_2	8.2482	0	2.4089	6.8794	2.9738	...	4.77
V_3	10.3732	2.4089	0	9.1721	2.1407	...	6.91
V_4	1.9977	6.8794	9.1721	0	9.6622	...	2.44
V_5	11.1610	2.9738	2.1407	9.6622	0	...	7.69
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots
V_{15}	3.48	4.76	6.91	2.44	7.69	...	7.04

Matriks konektifitas dapat bernilai 1 atau 0. Bila bernilai 1 menunjukkan adanya link, sedangkan 0 berarti tidak ada *link*. Kemudian dibangun pula matriks jarak antar kapal yang ditunjukkan pada Tabel 3.2. Matriks jarak ini diperlukan untuk menghitung probabilitas jarak dalam menentukan p_{gossip} tiap kapal. Probabilitas jarak sebuah kapal dapat bernilai 1 ketika sebuah kapal mempunyai nilai jarak terpendek di antara kapal dengan level sama terhadap kapal tujuan trafik data.

3.4 Marking Tiap Kapal dan Menentukan Kapal Tujuan

Setelah membangun matriks konektifitas dan jarak, marking (penandaan) tiap kapal dengan nomor level dimulai dari kapal sumber (V_1). Proses *marking* dengan menerapkan algoritma pencarian *Breadth First Search* seperti pada Bab 2.4.2 dari kapal sumber ke kapal tujuan. Proses dilakukan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.

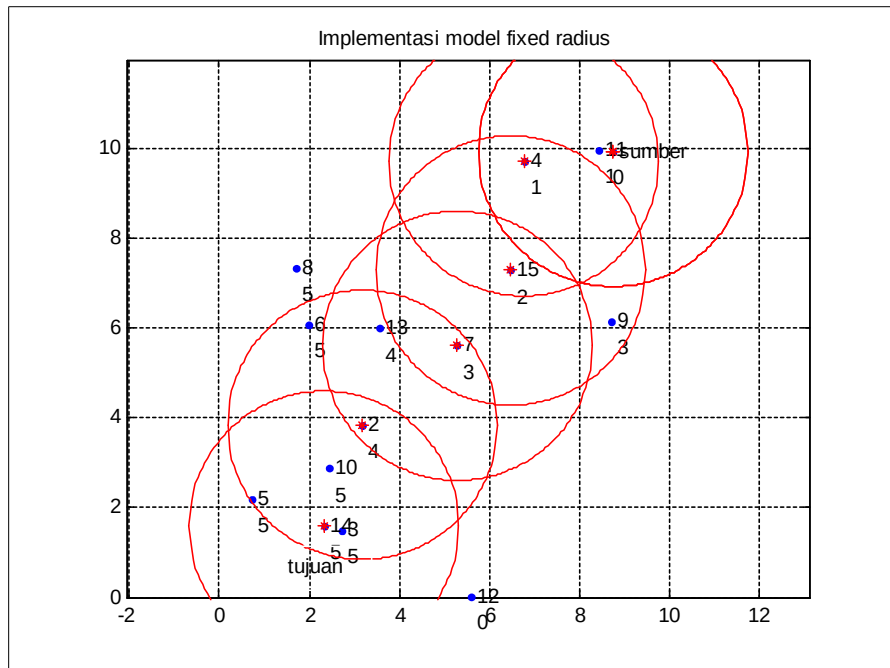


Gambar 3.4 Marking kapal dengan nomor level pada area 10×10 km

3.5 Implementasi Model *Fixed Radius*

Setelah melakukan proses *marking*, dilanjutkan dengan penerapan cakupan transmisi dengan model *fixed radius*, sehingga tampilan menjadi seperti Gambar 3.5. Pada jaringan nirkabel, implementasi model *fixed radius* sangat penting pada jaringan bergerak nirkabel, khususnya di laut, *band* frekuensi rendah yang digunakan dapat menjangkau kapal hingga jarak puluhan atau ratusan km. Bila *Tx range* diperbesar, maka semakin banyak kapal-kapal yang dapat digunakan sebagai kapal relai atau hanya memerlukan kapal relai yang lebih sedikit. Kapal sumber dinyatakan dengan nomor level 0, sedangkan dua kapal yang terhubung

langsung dengan V_1 adalah V_{11} dan V_4 dengan nomor level 1. Kapal yang termasuk dalam cakupan transmisi dihitung dengan persamaan 2.1.



Gambar 3.5 Implementasi model *fixed radius* pada area 10×10 km

3.6 Perhitungan Probabilitas *Gossip*

Probabilitas *Gossip* menjadi penentu pemilihan relai agar rute trafik data yang terbangun mencapai tujuan. Probabilitas *Gossip* yang diterapkan pada jaringan bergerak maritim, didasarkan pada dua variabel yaitu: jarak relai ke kapal tujuan dan banyaknya konektifitas relai ke kapal selanjutnya (level di atasnya). Dengan jarak yang semakin pendek terhadap kapal tujuan, maka kualitas sinyal informasi yang akan diterima akan semakin baik. Sedangkan banyaknya konektifitas relai dengan kapal dengan level di atas berikutnya, karena berdasarkan asumsi bahwa semakin banyak koneksi dengan kapal lain semakin berpeluang besar rute yang dipilih akan selalu terkoneksi dengan kapal berikutnya.

Probabilitas *Gossip* kapal yang akan dipilih sebagai relai, dua variabel yang menjadi pertimbangan, yaitu jarak antara kapal yang akan dipilih terhadap kapal tujuan (d_{ij}) dan konektifitas terhadap kapal dengan level di atasnya (c_i). Peneliti nyatakan sebagai $GOSSIP(p, d, c)$ yaitu probabilitas akan mentransmisikan

informasi ke kapal berikutnya bergantung pada jarak ke tujuan dan konektifitas ke level di atasnya. Bila diketahui probabilitas jarak kapal (V_i) ke tujuan adalah p_{d_i} dan probabilitas konektifitas ke kapal di level atasnya adalah p_{c_i} , maka probabilitas *gossip* kapal (V_i) adalah:

$$p_{gossip(V_i)} = \frac{p_{d_i} + p_{c_i}}{\sum p_{d_{ij}} + p_{c_{ij}}} \quad (3.1)$$

dengan $\sum p_{d_{ij}} + p_{c_{ij}}$ adalah jumlah semua probabilitas kapal dengan nomor level yang sama.

Tabel 3.3 Probabilitas V_{11} dan V_4

	V level 1	Jarak ke V_{14}	Jumlah konektifitas kapal level di atasnya	p_{d_i}	p_{c_i}	p_{gossip}
V_1	V_{11}	10.3731	0	0.892106	0	0.308462
V_1	V_4	9.25389	1	1	1	0.691538

Mengacu pada Tabel 3.3, untuk mendapatkan probabilitas jarak tiap kapal, maka dilihat yang memiliki jarak terdekat dengan kapal tujuan, maka dinyatakan memiliki probabilitas 1, sehingga untuk V_4 $p_{d_4} = 1$. Oleh karena itu probabilitas

jarak V_{11} ke tujuan adalah $\frac{9.253891}{10.3731} = 0.892106$. Sedangkan $p_{c_4} = 1$ karena

memiliki konektifitas dengan kapal pada level di atasnya dibandingkan V_{11}

$p_{c_{11}} = 0$ karena tidak memiliki koneksi dengan kapal pada level di atasnya.

Perhitungan p_{gossip} pada V_4 menjadi:

$$\frac{p_{d_4} + p_{c_4}}{p_{d_4} + p_{c_4} + p_{d_{11}} + p_{c_{11}}} = \frac{2}{2.892106} = 0.691538 \quad (3.2)$$

Sedangkan p_{gossip} pada V_{11} menjadi:

$$\frac{p_{d_{11}} + p_{c_{11}}}{p_{d_4} + p_{c_4} + p_{d_{11}} + p_{c_{11}}} = \frac{0.892106}{2.892106} = 0.308462 \quad (3.3)$$

Dari kedua nilai $p_{\text{gossip}} V_{11}$ dan V_4 , pada dipilih kapal dengan probabilitas yang lebih besar, yaitu V_4 . Setelah itu menuju kapal berikutnya, ternyata untuk level 2 hanya V_{15} yang terkoneksi dengan V_4 , sehingga dipilihlah V_{15} . Kemudian, untuk memilih kapal selanjutnya, diperhitungkan seperti sebelumnya, karena V_{15} terkoneksi dengan V_7 dan V_9 . Selengkapny hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.4 hingga Tabel 3.6. Tabel 3.4 menunjukkan perhitungan probabilitas jarak dan konektifitas pada marking level 3 dan Tabel 3. 5 dan 3.6 perhitungan probabilitas untuk kapal level 4 dan 5. Karena tujuan adalah V_{14} , jarak dinyatakan dengan nilai 0. Oleh karena itu rute yang terpilih telah mencapai kapal tujuan terbangun dan rute tersebut memerlukan 4 relai yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.

Tabel 3.4 Probabilitas V_9 dan V_7

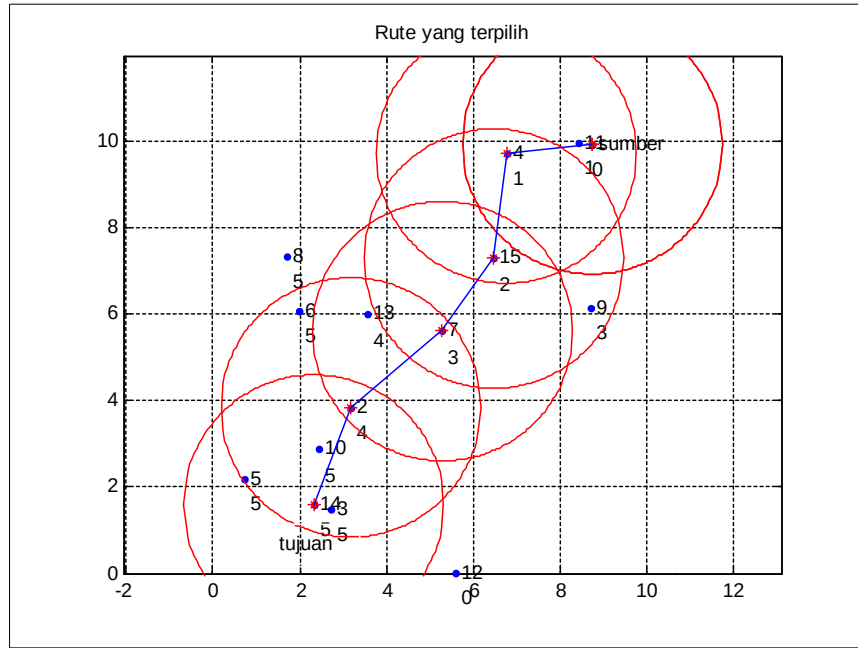
	V level 3	Jarak ke V_{14}	Jumlah konektifitas kapal level di atasnya	p_{d_i}	p_{c_i}
V_{15}	V_9	7.83739	0.636606	0	0.241449
V_{15}	V_7	4.98933	1	1	0.758551

Tabel 3.5 Probabilitas V_{13} dan V_2

	V level 4	Jarak ke V_{14}	Jumlah konektifitas kapal level di atasnya	p_{d_i}	p_{c_i}
V_7	V_{13}	4.56645	0.526641	0.4	0.316623
V_7	V_2	2.40488	1	1	0.683377

Tabel 3.6 Probabilitas kapal level 5

	V tujuan	Jarak ke V tujuan
V_2	V_3	0.425471
V_2	V_5	1.71599
V_2	V_6	4.49174
V_2	V_{10}	1.28238
V_2	V_{14}	0



Gambar 3.6 Rute terpilih terbangun pada area 10×10 km

3.7 Pengujian Keberhasilan Trafik Data

Adapun skenario pengujian dengan melakukan simulasi dengan parameter seperti yang terlihat pada Tabel 3.7 dengan merubah kapal tujuan sebanyak 14 karena jaringan terdiri atas 15 kapal. Adapun tiga pengukuran kinerja yang diperhitungkan adalah:

- Saved retransmission* (SR), yaitu metrik kinerja yang menghitung banyaknya transmisi ke kapal sekitarnya yang dapat dihemat ketika p_{gossip} sebuah kapal lebih tinggi dibanding kapal lain pada level yang sama.

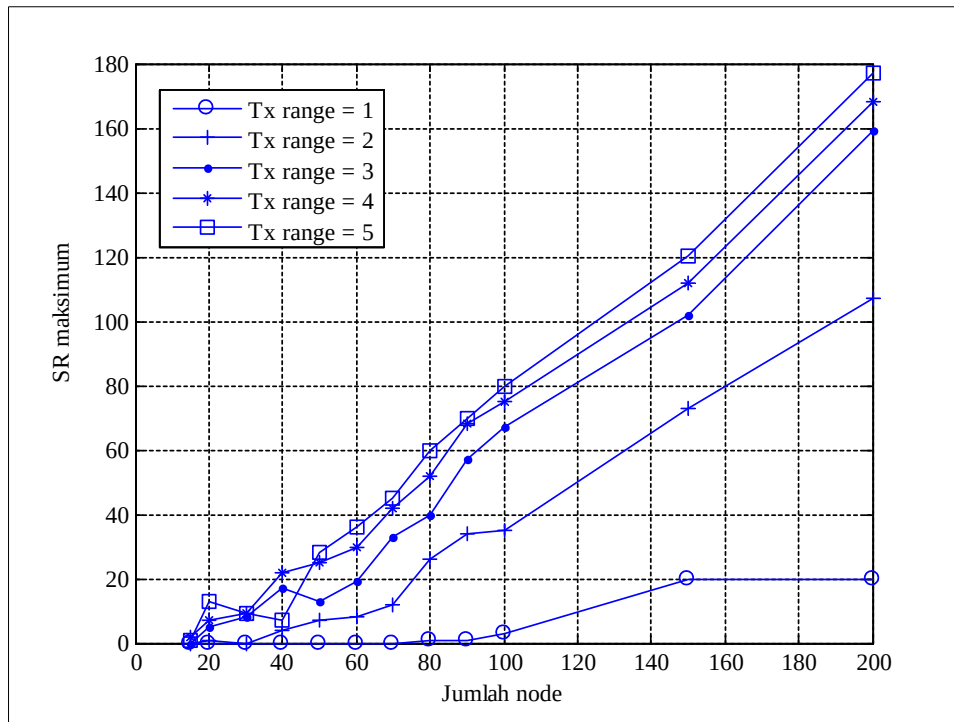
$$\arg \max_i \quad SR = \sum_{i=1}^j t_i \quad (3.4)$$

dengan t_i banyaknya transmisi ulang yang dapat dihemat pada rute ke- i , $i = 1, 2, 3, \dots, j$ untuk mencapai kapal tujuan.

Cara perhitungan kinerja SR yaitu dengan menghitung jumlah kapal yang terdapat dalam cakupan yang sama dari kapal sebelumnya dan pada level yang sama. Perhitungan tidak hanya pada 1 kapal tujuan, misal untuk jumlah kapal 15, maka terdapat 14 kapal tujuan dan jumlah terbanyak *save retransmission* yang disimpan.

Tabel 3.7 Parameter simulasi

Parameter	Jumlah
Jumlah kapal	15 – 200
Cakupan transmisi (<i>Tx range</i>) km	1 – 50



Gambar 3.7 *Save retransmission* jumlah kapal pada area 10×10 km

Gambar 3.7 menunjukkan SR untuk *Tx range* 1 – 5 km. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah maksimum SR semakin meningkat dengan bertambahnya jumlah kapal. Pada Gambar 3.7, terlihat pada *Tx range* 5 km, SR maksimum terbesar dibandingkan lainnya. Hal ini disebabkan cakupan yang lebih luas menyebabkan banyak kapal dalam area cakupannya, sehingga tidak semua kapal harus metransmisi ulang data/informasi. Pada saat *Tx range* 1 km memiliki SR maksimum terkecil dan mulai bertambah SR-nya ketika jumlah kapal mencapai 100. Namun tidak mengalami peningkatan meskipun jumlah kapal ditambah hingga 100. Adapun hasil selengkapnya SR pada area 50×50 km dan 100×100 km dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan 3.9. Adapun hasil pengamatan menunjukkan bahwa:

- Tidak ada SR pada *Tx range* 1 km, meskipun jumlah kapal meningkat hingga 200.
- SR muncul pada semua kelompok jumlah kapal pada saat *Tx range* 20 km.
- Nilai SR semakin meningkat dengan semakin bertambahnya jumlah kapal.
- Semakin besarnya *Tx range*, jumlah SR semakin besar, karena banyak kapal yang berada dalam *Tx range* kapal lainnya, sehingga tidak memerlukan transmisi ulang.
- Ketika jumlah kapal sama, dengan semakin luasnya area persebaran, ternyata berpengaruh pada jumlah SR yang cenderung menurun. Hal ini disebabkan kapal-kapal tersebar luas, sehingga hanya beberapa kapal saja yang berada dalam cakupan. Oleh karena itu SR semakin kecil.

Pada Tabel 3.8 dan 3.9, simulasi dilakukan sebanyak 5 kali untuk tiap jumlah kapal dan *Tx range*, dan diambil yang terbanyak atau maksimum untuk tiap simulasi. Sedangkan hasil SR ini dibandingkan dengan metrik yang sama dengan metode berbeda yaitu menggunakan DFS. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kelemahan dan keunggulan kedua metode. Pada DFS juga diterapkan model *fixed radius*.

Hasil simulasi SR mengindikasikan bahwa semakin besar kepadatan (*density*) kapal maka nilai SR semakin besar, sedangkan semakin besar *Tx range*, semakin kecil nilai SR. Nilai SR yang telah didapatkan penulis bandingkan dengan nilai SR dengan menggunakan metode *Depth First Search* (DFS). Pada Tabel 3.10 memperlihatkan SR maksimum DFS pada area 50×50 km dengan berbagai jumlah kapal dan *Tx range*. Tabel ini juga menunjukkan tidak adanya hubungan yang signifikan antara jumlah kapal dan *Tx range*. Tidak ada penambahan SR secara signifikan dengan bertambahnya jumlah kapal. Dapat disimpulkan bahwa antara *Tx range* 20 – 40 km, SR konstan. Berdasarkan hasil kedua simulasi DFS dan BFG, dapat ditunjukkan metrik SR dalam sebuah grafik Gambar 3.8. Grafik tersebut menggambarkan hubungan antara SR maksimum terhadap jumlah kapal pada dua metode dengan *Tx range* yang berbeda. Nilai SR BFG lebih baik dibanding DFS di semua jumlah kapal dan *Tx range*.

Tabel 3.8 *Save retransmission* maksimum BFG pada area 50×50 km

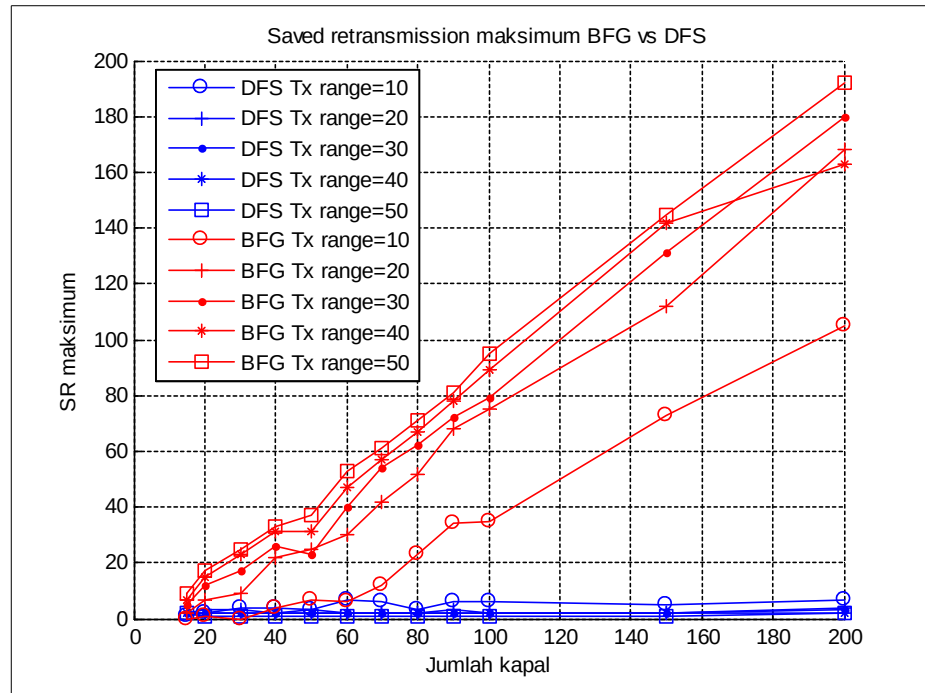
<i>Tx range (km)</i>	Jumlah kapal											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	1	8
10	0	1	0	4	7	6	12	23	34	35	73	105
20	2	7	9	22	25	30	42	52	68	75	112	168
30	5	12	17	26	23	40	54	62	72	79	131	180
40	7	15	23	31	31	47	57	67	78	89	142	163
50	9	17	25	33	37	53	61	71	81	95	145	192

Tabel 3.9 *Save retransmission* maksimum BFG pada area 100×100 km

<i>Tx range (km)</i>	Jumlah kapal											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	1	18
20	0	1	0	4	5	2	3	14	24	14	61	105
30	0	3	4	17	9	8	13	19	43	25	64	159
40	2	7	9	22	25	30	42	52	68	75	112	165
50	1	13	9	27	26	36	45	60	70	80	120	177

Tabel 3.10 *Saved retransmission* maksimum DFS pada area 50×50 km

Tx range (km)	Jumlah kapal											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
5	1	1	2	1	1	1	1	3	6	2	5	15
10	1	2	4	4	3	7	6	3	6	6	5	7
20	2	3	3	2	3	2	2	2	3	2	2	4
30	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
50	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2



Gambar 3.8 *Saved retransmission* maksimum DFS dan BFG pada area 50×50 km

b) *Transmission failure (TF)*: prosentase kegagalan pentransmisian paket pesan/informasi dari kapal sumber ke tetangganya dalam jaringan. Hal ini disebabkan Tx range yang kecil atau tersebar nya kapal pada luasan area yang cukup jauh dengan kapal sekitarnya, metrik ini dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$TF = 100\% - \frac{\sum_{i=1}^j V_{t_i}}{V} \quad (3.5)$$

dengan V_{t_i} menyatakan banyaknya kapal yang berada dalam cakupan transmisi kapal sumber rute ke- i hingga mencapai kapal tujuan dibandingkan dengan jumlah seluruh kapal V dalam jaringan. Perhitungan kinerja kegagalan transmisi (*transmission failure* – TF) dilakukan pada area berbeda, dengan variasi jumlah kapal dan *Tx range*. Adapun cara mendapatkan kinerja ini berdasarkan pada banyaknya maksimum kapal yang berada dalam cakupan transmisi kapal pengirim sumber informasi atau kapal relai yang telah dipilih oleh kapal sumber mencapai kapal tujuan. Adapun hasil simulasi TF dengan implementasi BFG ditunjukkan pada Tabel 3.11 dan 3.12. Pada kedua tabel diperlihatkan dengan banyaknya jumlah kapal terhadap variasi *Tx range* (1 – 20 km). Terlihat bahwa semakin luasnya area persebaran kapal ternyata TF semakin banyak terjadi pada *Tx range* 10 km.

Mengacu pada hasil simulasi Tabel 3.11 dan 3.12, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Nilai TF semakin menurun dengan meningkatnya jumlah kapal dan *Tx range*, dapat dilihat pada area 50×50 km dengan *Tx range* 10 – 15 km. Sedangkan pada area 100×100 km, terlihat pada *Tx range* 20 – 30 km
- Pada *Tx range* 1 km, terjadi TF pada semua jumlah kapal. Hal ini disebabkan, karena kapal tetangga berada di luar jangkauan kapal sumber dan tidak ada kapal yang mentransmisi ulang menuju kapal tujuan.
- Dengan semakin luasnya daerah persebaran kapal, pada jumlah kapal yang sama, nilai TF cenderung turun ketika *Tx range* bertambah, seperti pada jumlah kapal 15, TF cenderung turun dengan bertambahnya *Tx range*.
- Tidak terjadi TF ketika *Tx range* 10 km pada area 50×50 km dan *Tx range* 20 km pada area 100×100 km ketika jumlah kapal di atas 40, karena kapal-kapal dalam jaringan sudah dalam cakupan transmisi kapal lainnya.

Tabel 3.11 *Transmission failure* BFG (%) area 50×50 km

<i>Tx range (km)</i>	Jumlah Kapal											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
1	100	100	100	100	98	100	100	100	100	98	100	99
5	86	74	90	90	95	95	93	72	47	66	72	0
10	79	68	34	8	0	0	0	0	0	0	0	0
15	36	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.12 *Transmission failure* BFG (%) area 100×100 km

<i>Tx range (km)</i>	Jumlah Kapal											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
1	100	100	100	100	98	100	100	100	100	99	100	100
5	93	89	100	97	98	100	100	99	98	96	100	97
10	86	75	90	90	76	95	93	47	47	66	72	0
20	79	68	34	8	0	0	0	0	0	0	0	0
30	36	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.13 *Transmission failure* DFS (%) area 50×50 km

<i>Tx range</i> (km)	Jumlah Kapal											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	97	96	97	97	97	94	95	97	94
10	85	89	80	95	94	91	94	0	0	0	0	0
15	75	89	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Adapun hasil TF untuk metode DFS ditunjukkan pada Tabel 3.13, yang dapat diringkas sebagai berikut:

- Pada *Tx range* 1 dan 5 km, terjadi TF yang besar di setiap jumlah kapal. Hal ini disebabkan, karena *range* tiap kapal tidak menjangkau kapal-kapal di sekitar kapal sumber maupun yang lainnya.
- Semakin besar *Tx range* dan jumlah kapal, maka TF semakin mengecil. Khususnya pada *Tx range* 15 dan 20 km, hampir semua kapal tidak terjadi TF. Berarti, semua kapal dalam cakupan kapal lainnya sehingga tidak terjadi TF.

Ketika BFG dan DFS dibandingkan, untuk mengetahui kinerja kedua metode, maka hasil kinerja TF keduanya pada area 50×50 km dapat disimpulkan bahwa:

- Pada *Tx range* 1 km, kegagalan transmisi masih terjadi pada BFG dan DFS.
- Pada saat *Tx range* 5 km, TF hampir 100% terjadi pada DFS, sedangkan pada BFG kegagalan transmisi terjadi sekitar 47 hingga 95%. Terlihat penurunan TF pada BFG.
- Pada saat *Tx range* 10 km, TF terjadi pada jumlah kapal 15 – 40 pada BFG, sedangkan TF masih terjadi pada jumlah kapal 15 – 70. a signifikan pada BFG.
- Pada saat *Tx range* 15 km, nilai TF cukup besar pada DFS yaitu antara 75 – 89 %. TF pada BFG hanya berkisar antara 3 – 36 % saja.

- c) *Hop counts (HC)*: banyaknya *hop* (lompatan) maksimum dari kapal sumber ke tujuan dalam membangun rute trafik data.

$$\arg \max_i HC = \sum_i^j H_i \quad (3.2)$$

dengan H_i adalah banyaknya *hop* rute ke- i , $i = 1, 2, 3, \dots, j$ hingga mencapai kapal tujuan

Adapun kinerja terakhir yang diinvestigasi adalah *hop count* (HC). Banyaknya *hop* (lompatan) merujuk pada banyaknya kapal relai yang dilalui untuk mencapai kapal tujuan. Implementasi BFG bertujuan untuk mendapatkan jumlah *hop* sedikit untuk membangun sebuah rute. Cara mendapatkan kinerja jumlah *hop* dengan menghitung jumlah kapal relai yang diperlukan untuk mencapai pengiriman informasi ke kapal tujuan dengan mensimulasikan ke semua kapal tujuan dan maksimum jumlah relai yang diperlukan yang dihitung. Simulasi dilakukan pada kedua area 50×50 km dan 100×100 km. Pada area 50×50 km, jumlah *hop* maksimum pada Tx range 1 km adalah 1. Hal ini disebabkan karena banyak kapal di luar cakupan transmisi kapal sumber, sehingga hanya 1 lompatan untuk mencapai kapal tujuan yang terdekat.

Tabel 3.14 *Hop count* maksimum BFG area 50×50 km

<i>Tx range (km)</i>	Jumlah Kapal											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
5	2	2	2	2	6	2	2	9	12	12	11	18
10	2	2	5	9	8	7	7	7	7	7	6	8
15	4	6	4	4	5	4	4	4	5	4	4	5
20	4	4	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4
30	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3
40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
50	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2

Tabel 3.15 *Hop count* maksimum BFG area 100×100 km

<i>Tx range</i> (km)	Jumlah Kapal											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
5	1	1	0	1	1	0	0	1	2	2	0	3
10	2	2	2	2	6	2	2	9	12	12	11	18
15	2	1	3	4	5	7	6	11	11	9	8	10
20	2	2	5	9	8	7	7	7	7	7	6	8
30	4	6	4	4	5	4	4	4	5	4	4	5
40	4	4	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4
50	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	2	3

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari Tabel 3.14 dan 3.15:

- Ketika jumlah kapal semakin banyak, jumlah *hop* semakin besar, hal ini terjadi pada *Tx range* 5 – 15 km, kapal tersebar hingga mendekati batas area, sehingga memerlukan banyak kapal relai mencapai kapal terluar.
- Pada area 50×50 km, pada *Tx range* 15 – 20 km, terlihat jumlah *hop* konstan dan makin kecil dengan *Tx range* semakin besar.
- HC terbesar terhitung ketika pada *Tx range* 5 dan 10 km pada semua area.
- Hal khusus lainnya adalah pada area 50×50 km, *hop* maksimum rata-rata 4 terjadi pada *Tx range* 15 dan 20 km, sedangkan pada area 100×100 km terjadi pada *Tx range* 30 dan 40 km.

Adapun hasil HC pada DFS, terlihat seperti pada Tabel 3.16. Bila dibandingkan hasil HC pada DFS, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Maksimum *hop* pada DFS adalah 12 *hop*, namun pada BFG sebesar 18. Ini mengindikasikan bahwa BFG memerlukan lebih banyak relai untuk mencapai semua anggota dalam jaringan pada topologi yang sama.
- Pada *Tx range* 5 dan 10, jumlah *hop* yang diperlukan BFG lebih banyak dibandingkan DFS.
- Sedangkan *Tx range* di atasnya cenderung memiliki *hop* yang hampir sama di tiap jumlah kapalnya.

Secara umum, BFG memperlihatkan kinerja yang lebih baik dibandingkan DFS untuk kinerja *saved retransmission* dan *transmission failure*. Sedangkan untuk jumlah *hop*, DFS menunjukkan jumlah yang lebih sedikit di beberapa cakupan transmisi. BFG dapat dijadikan sebagai alternatif sebagai algoritma penemuan dan pemilihan rute ke depannya.

Tabel 3.16 Jumlah *hop* maksimum DFS area 50×50 km

<i>Tx range</i> (km)	Jumlah kapal											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	2	2	1	2	2	2	2	5	5	5	12
10	2	2	5	2	8	5	4	7	6	7	5	5
15	3	5	4	3	4	3	4	5	5	4	4	4
20	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3
30	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3
40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
50	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

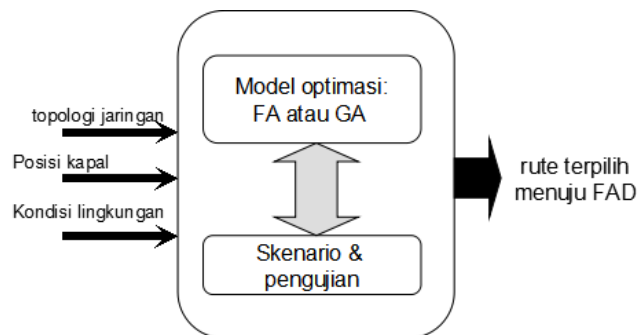
BAB 4

PEMODELAN OPTIMASI RUTE DESTINASI BERBASIS ALGORITMA *FIREFLY* DAN GENETIKA

4.1 *Framework* Optimasi Rute *Fish Aggregating Device* (FAD)

Optimasi banyak dilakukan dengan tujuan apakah meminimumkan biaya, konsumsi energi atau memaksimumkan profit, keluaran, kinerja ataupun efisiensi. Saat ini, optimasi terkait erat dengan penerapan algoritma kecerdasan buatan dengan meniru perilaku makhluk hidup di sekitar kita. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan yang diinginkan dari alternatif solusi permasalahan.

Teknologi maritim berkembang tidak hanya pada peralatan navigasinya, namun implementasi pendekatan berbasis *artificial intelligence* (AI). Beberapa pendekatan diadaptasi dari perilaku sekumpulan makhluk hidup. Pendekatan ini sangat menjanjikan karena dapat menyelesaikan masalah secara cepat, meskipun tidak menjamin penyelesaian secara optimal. Berbagai penelitian maritim telah dilakukan, seperti investigasi *tracking* kapal tangkap ikan (*fishing vessel*) dan penggunaan jaringan saraf tiruan untuk meningkatkan manajemen perikanan dan identifikasi profil pendaratan pada *vessel monitoring system* (VMS) [86]. Riset lain ada yang bertujuan untuk memperbaiki atau alternatif *routing protocol* dengan pendekatan Gossip dan model stokastik untuk industri perikanan sebagai potensi ekonomis yang didukung teknologi dan aplikasi [87] [88]. Sedangkan pada bidang maritim, optimasi dengan menggunakan pendekatan neural network (NN), *generalized additive model* (GAM) dan *multiple linear regression* (MLR) digunakan untuk memprediksi dan analisis pendaratan ikan sarden di samudera Pasifik yang berkenaan dengan faktor lingkungan utara Chili [89]. Model manajemen keamanan maritim juga diusulkan untuk mengatasi kecelakaan kapal laut berbasis Bayes [90]. Di tahun yang sama, menawarkan sistem penemuan untuk mengidentifikasi keamanan yang tidak normal maritim berbasis GA [91].

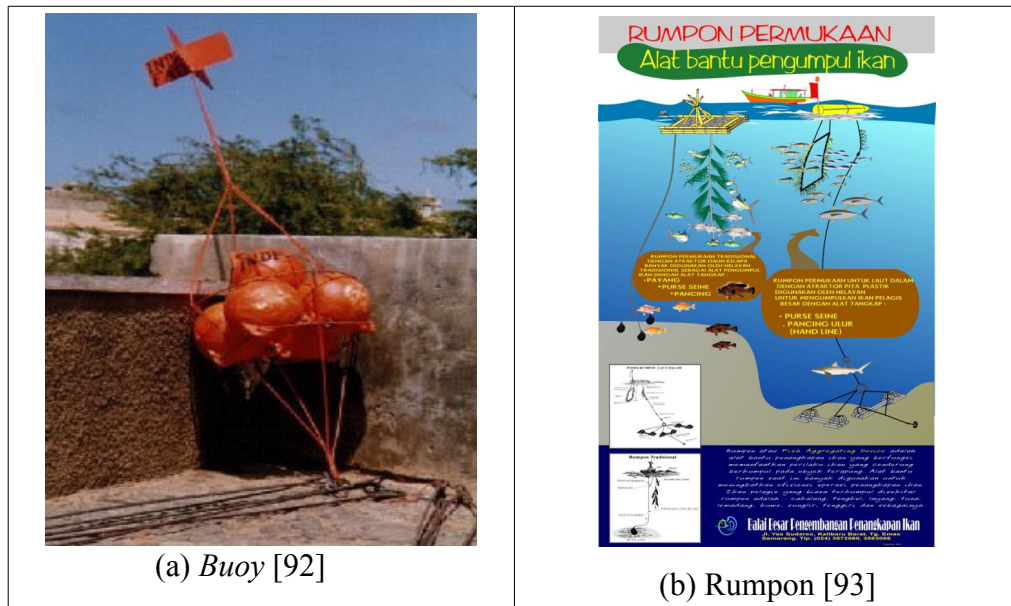


Gambar 4.1 *Framework* optimasi rute kapal menuju FAD

Mengacu pada penelitian sebelumnya, optimasi dengan beberapa pendekatan telah diterapkan pada bidang maritim. Salah satu permasalahan nyata yang bisa didekati dengan optimasi adalah menentukan rute menuju tempat penangkapan ikan, dengan memperhatikan faktor kondisi laut, cuaca dan jarak, di mana dengan memilih rute yang terpendek, bahan bakar yang dipergunakan menjadi lebih sedikit (berhubungan dengan efisiensi). Untuk memahami lebih lanjut, pemilihan rute menuju tempat penangkapan ikan dapat ditunjukkan dalam bentuk bingkai kerja seperti diperlihatkan pada Gambar 4.1. Topologi jaringan, karakteristik kapal laut yang direpresentasikan sebagai *node* dan kondisi lingkungan *fish aggregating device* (FAD) menjadi parameter masukan. Model optimasi yang digunakan mengacu pada pendekatan FA atau GA dengan menentukan *fitness function* tiap masing-masing kapal.

4.2 Alat Bantu Pengumpul Ikan

Pada penelitian ini, rute destinasi difokuskan pada rute ke lokasi tangkap ikan berkumpul. Lokasi ini diasumsikan tetap, sehingga dapat ditentukan jarak menuju lokasi tersebut. Tempat penangkapan ikan di laut ada yang sengaja dibuat manusia untuk mengumpulkan ikan, yaitu disebut alat bantu pengumpul ikan. Alat bantu pengumpul ikan atau disebut *fish aggregating device* (FAD) adalah alat/struktur atau perangkat semi permanen, permanen atau sementara yang terbuat dari bahan apa saja yang dapat digunakan untuk memikat ikan [92]. Di Indonesia, alat ini dikenal dengan nama rumpon.



Gambar 4.2 Contoh FAD

Rumpon merupakan alat bantu untuk mengumpulkan ikan dengan menggunakan berbagai bentuk dan jenis pemikat/atraktor dari benda padat yang berfungsi untuk memikat ikan agar berkumpul [93]. Terdapat 2 jenis rumpon, yaitu tradisional dan modern. Rumpon tradisional adalah jenis FAD pada kedalaman 50 – 200 m. Sedangkan FAD modern terbuat dari teknologi dan bahan impor serta dapat dijangkarkan hingga kedalaman di atas 3000 meter (Gambar 4.2). Rumpon ini dapat dimanfaatkan para nelayan untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas operasi penangkapan ikan. Terdapat 2 jenis rumpon, yaitu: [94]

- Rumpon menetap, ditempatkan secara tetap dengan menggunakan jangkar atau pemberat, terdiri atas rumpon permukaan dan rumpon dasar.
- Rumpon hanyut, ditempatkan tidak tetap yang tidak dilengkapi dengan jangkar dan hanyut mengikuti arus.

4.3 Pemodelan Optimasi Rute Destinasi FAD Berbasis FA dan GA

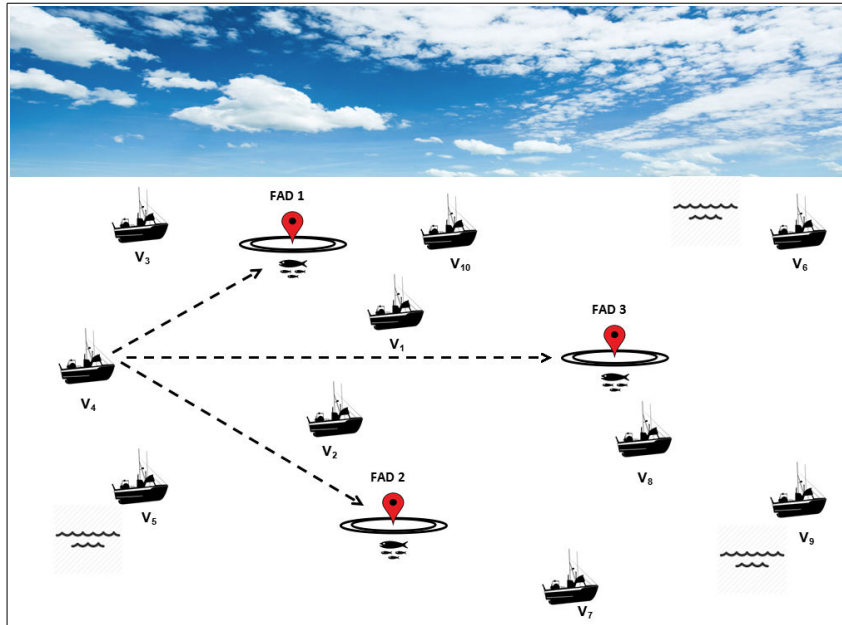
Pemilihan rute yang efisien dan menguntungkan menuju FAD menjadi tujuan utama para nelayan untuk menangkap ikan. Hal ini berkenaan dengan keterbatasan bahan bakar dan kondisi lingkungan di laut. Gambar 4.3 menunjukkan ilustrasi di laut, kapal nelayan V_1 berusaha memilih rute yang dapat

menguntungkan dari tiga pilihan posisi FAD (FAD 1, FAD 2, dan FAD 3).

Fungsi tujuan (*fitness*) usulan untuk memilih rute menuju FAD yang menguntungkan yaitu rute yang jaraknya terpendek dan kondisi lingkungan FAD yang mendukung untuk tiap kapal sebagai berikut:

$$\arg \min_i Z(x_i, C_i, G_i) = w_1 x_i + w_2 C_i + w_3 G_i \quad (4.1)$$

dengan w_1 menyatakan bobot parameter jarak x_i antara kapal penangkap ikan dan lokasi FAD, w_2 menyatakan bobot parameter C_i kondisi cuaca di lokasi FAD ke- i , w_3 menyatakan bobot parameter G_i kondisi gelombang laut di lokasi FAD ke- i . Untuk nilai C_i dan G_i dinyatakan dalam rentang 1 – 100, cuaca baik dan tinggi gelombang yang rendah dinyatakan dengan nilai 1; cuaca sedang dan tinggi gelombang sedang dinyatakan nilai 50; dan cuaca buruk dan gelombang tinggi bernilai 100. Adapun nilai parameter γ dan α ditetapkan terlebih dahulu antara 0 dan 1 (Tabel 4.1). Dari fungsi *fitness* semua kapal diketahui yang memiliki nilai terendah, berarti terbaik dari semua kapal. Perhitungan tingkat keakurasian dari metode yang diusulkan juga dilakukan.



Gambar 4.3 Pemilihan rute kapal penangkap ikan menuju FAD

Tabel 4.1 Nilai γ dan α

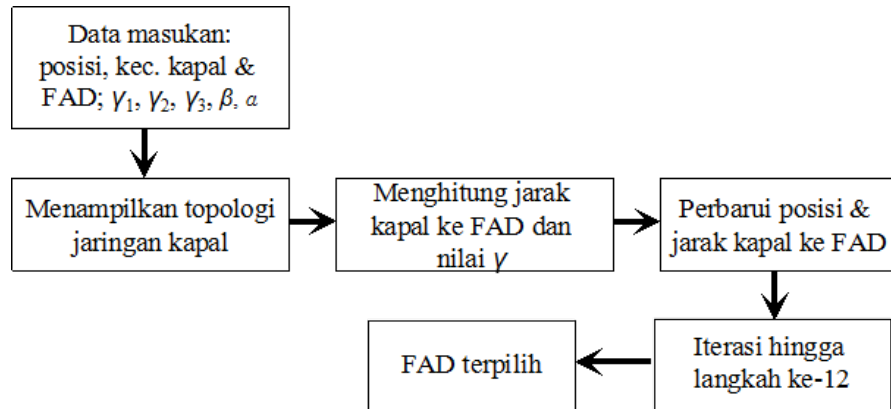
Parameter	Deskripsi	Nilai
γ_1	Ketertarikan karena jarak ke posisi FAD (km)	Cakupan [0,1] 0 – 40 \rightarrow 0.01 40 – 70 \rightarrow 0.5 > 70 \rightarrow 1
γ_2	Ketertarikan karena cuaca di posisi FAD	Cakupan [0,1] cerah \rightarrow 0.01 berawan \rightarrow 0.5 kabut \rightarrow 1
γ_3	Ketertarikan karena tinggi gelombang laut (m) di posisi FAD	Cakupan [0,1] 2.5 – 4.0 \rightarrow 1 1.25 – 2.5 \rightarrow 0.5 0.5 – 1.25 \rightarrow 0.01
α	Keacakan kunang-kunang yang disebabkan cuaca	Cakupan [0,1] cerah \rightarrow 0.01 berawan \rightarrow 0.5 kabut \rightarrow 1

Pada kasus ini, w_i dapat ditentukan dengan mempertimbangkan pengaruh dan penting parameter tersebut pada suatu kasus. Dalam hal ini parameter jarak dan tinggi gelombang sangat berpengaruh dibanding cuaca. Dengan menggunakan pendekatan FA, persamaan 2.6 yang menyatakan pergerakan kunang-kunang menjadi:

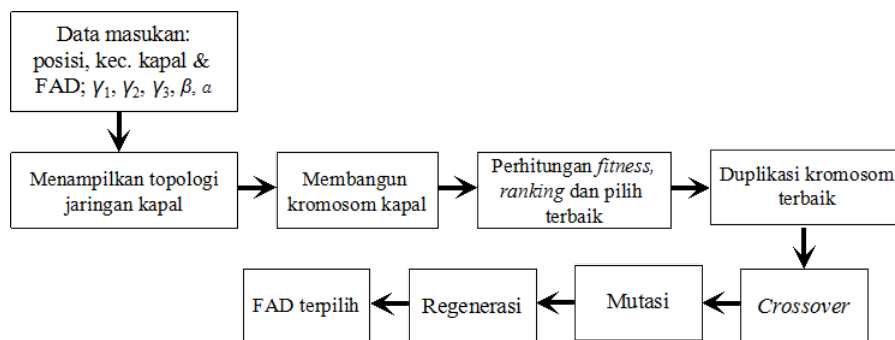
$$x_i = x_i + e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha(b - 0.5) \quad (4.2)$$

dengan nilai γ yang meliputi nilai γ_1 yang merepresentasikan ketertarikan karena jarak ke FAD, γ_2 yang merepresentasikan ketertarikan karena kondisi cuaca di mana secara umum dikategorikan cerah, berawan dan berkabut, sedangkan γ_3 merepresentasikan ketertarikan karena tinggi gelombang [95] yang ditunjukkan pada Tabel 4.1). Nilai b di sini menunjukkan keacakan pergerakan. Blok diagram optimasi rute menuju FAD dengan menggunakan FA ditunjukkan pada Gambar 4.4. Optimasi rute ini meliputi langkah memilih FAD yang terbaik dari tiap kapal dengan mempertimbangkan jarak dan kondisi FAD. Optimasi ini dimulai dengan

data masukan seperti posisi FAD dan kapal penangkap ikan, kecepatan kapal, cuaca dan tinggi gelombang di FAD, serta nilai $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ dan α .



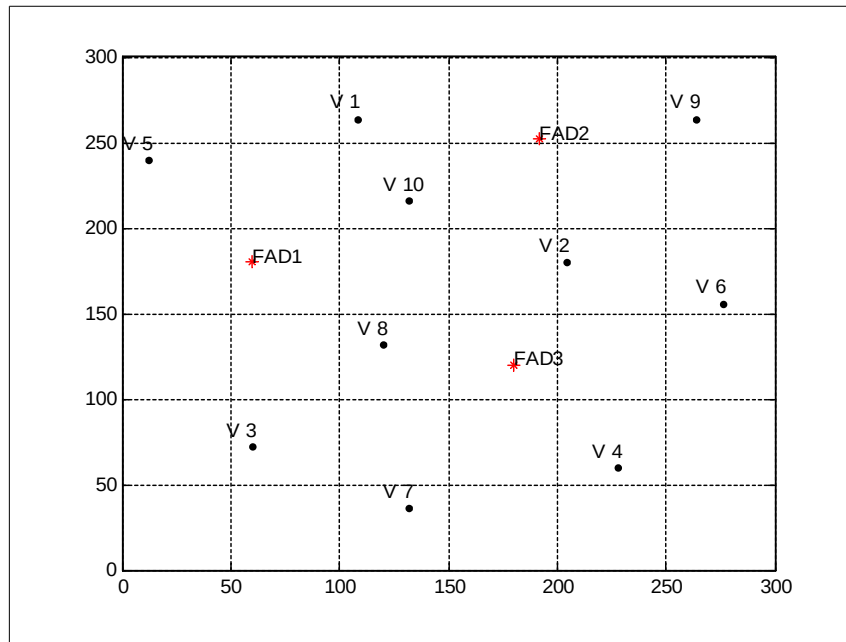
Gambar 4.4 Optimasi rute menggunakan algoritma *firefly*



Gambar 4.5 Optimasi rute menggunakan algoritma genetika

4.4 Topologi Jaringan Kapal

Jaringan kapal maritim mengacu pada kondisi di pantai selatan Pacitan, yaitu di pelabuhan Tamperan Kabupaten Pacitan, dengan asumsi area persebaran kapal sebagai 300×300 km. Jumlah kapal nelayan ditetapkan 10 kapal sebagai representasi jumlah kapal nelayan kecil yang menangkap ikan. Gambar 4.6 menunjukkan posisi kapal dan FAD pada area 300×300 km. Persebaran kapal pada area tersebut diasumsikan bahwa kapal telah mencapai suatu lokasi yang berada jauh dari FAD, sehingga untuk mencapai FAD dipertimbangkan jarak ke lokasi FAD dan kondisi lingkungan FAD. Jarak sebagai pertimbangan mengacu pada lama perjalanan (waktu) dan ketersediaan bahan bakar.



Gambar 4.6 Posisi kapal dan FAD pada area 300×300 km

Menurut pengamatan di pelabuhan Tamperan Pacitan, kapal biasanya berlayar selama 12 jam. Lama perjalanan 12 jam ini dinyatakan dalam langkah pergerakan kapal mencapai FAD dan kondisi lingkungan FAD juga ditetapkan dalam 12 kondisi (langkah).

4.5 Optimasi Rute FAD Menggunakan Algoritma *Firefly*

Penelitian ini mengusulkan sebuah model serta usulan optimasi rute menuju FAD pada jaringan bergerak maritim. Untuk tiap penentuan jarak kapal dengan FAD, selalu diperbarui untuk dapat menghitung jarak yang telah ditempuh tiap kapal per langkah sesuai dengan kondisi di FAD. Perhitungan jarak menggunakan persamaan 2.1 dan pergerakan kapal tiap langkah dibangkitkan secara acak, sehingga berdampak pada arah pergerakan yang bergeser dari sebelumnya, hal ini terjadi ketika menggunakan algoritma *firefly*. Sedangkan algoritma genetika tidak memperlihatkan pergeseran pergerakan. Kondisi FAD dalam tiap langkah dapat dinyatakan dalam matriks seperti pada Tabel 4.2 dan 4.3. Kedua tabel memperlihatkan kondisi di masing-masing FAD, asumsi perubahan yang terjadi tidak secara drastis, namun bertahap untuk mencapai kondisi terburuk.

Tabel 4.2 Kondisi cuaca (γ_2)

Langkah	FAD 1	FAD 2	FAD 3
1	0.01	0.01	0.01
2	0.01	0.01	0.01
3	0.5	0.5	0.01
4	0.5	0.5	0.01
5	1	1	0.5
6	1	1	0.5
7	1	1	0.5
8	1	1	0.5
9	0.5	0.5	1
10	0.5	0.5	1
11	0.01	0.01	1
12	0.01	0.01	1

Tabel 4.3 Kondisi tinggi gelombang (γ_3)

FAD 1	FAD 2	FAD 3
0.01	0.5	1
0.01	0.5	1
0.5	0.01	0.5
0.5	0.01	0.5
0.5	0.01	0.5
0.5	0.01	0.5
1	0.5	1
1	0.5	1
1	0.5	0.5
1	0.5	0.5
0.5	1	0.01
0.5	1	0.01

Nilai γ diperoleh dengan menjumlahkan nilai γ_1 hingga γ_3 dalam persamaan:

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 \quad (4.3)$$

Nilai γ dimasukkan dalam persamaan 4.2 dan posisi kapal menjadi terbaru, kemudian dilakukan perhitungan jarak yang terbaru. Fungsi *fitness* didapatkan sesuai dengan persamaan 4.1 dan hasilnya terangkai dari nilai yang paling kecil.

4.6 Optimasi Rute FAD Menggunakan Algoritma Genetika

Pada optimasi menggunakan algoritma Genetika, setelah topologi jaringan terbentuk, membangun kromosom tiap kapal terhadap masing-masing FAD. Kromosom tiap kapal dinyatakan dalam matriks berikut.

Tabel 4.4 Kromosom awal kapal

	No. FAD	Jarak	γ_2	γ_3
V_l	1	60.0925	0.01	0.01
V_1	2	52.7046	0.01	0.5
V_1	3	100.00	0.01	1

Setelah didapatkan kromosom awal, lalu dihitung nilai *fitness* masing-masing kapal sesuai persamaan 4.1 dan dimasukkan dalam kromosom pada kolom berikutnya (Tabel 4.5).

Tabel 4.5 Kromosom kapal dan *fitness*

	No. FAD	Jarak	γ_2	γ_3	<i>fitness</i>
V_I	1	60.0925	0.01	0.01	30.0548
V_I	2	52.7046	0.01	0.5	26.6058
V_I	3	100.00	0.01	1	50.5035

Lalu dilakukan perangkingan atau *sorting* dengan nilai minimum, sehingga hasilnya sebagai berikut.

Tabel 4.6 Perangkingan nilai *fitness*

	No. FAD	Jarak	γ_2	γ_3	<i>fitness</i>
V_I	2	52.7046	0.01	0.5	26.6058
V_I	1	60.0925	0.01	0.01	30.0548
V_I	3	100.00	0.01	1	50.5035

Proses selanjutnya adalah duplikasi yaitu banyak kromosom tiap kapal 3 dibagi 2 hasil 1.5, maka 2 kromosom terbaik yang diduplikasi 3 kali. Hasilnya seperti berikut.

Tabel 4.7 Duplikasi kromosom

No. FAD	Jarak	γ_2	γ_3
2	52.7046	0.0100	0.5000
2	52.7046	0.0100	0.5000
2	52.7046	0.0100	0.5000
1	60.0925	0.0100	0.0100
1	60.0925	0.0100	0.0100
1	60.0925	0.0100	0.0100

Proses berikutnya adalah *crossover* (disilangkan) antar kromosom terbaik tersebut (Tabel 4.8). Persilangan ini hanya dilakukan pada γ_2 dan γ_3 dengan pertimbangan bahwa kedua variabel ini yang dapat diubah, sedangkan jarak adalah konstan.

Tabel 4.8 *Crossover* kromosom

No. FAD	Jarak	γ_2	γ_3
1	60.0925	0.01	0.5
2	52.7046	0.01	0.01
1	60.0925	0.01	0.01
2	52.7046	0.01	0.5
2	52.7046	0.01	0.5
1	60.0925	0.01	0.01

Proses berikutnya adalah mutasi yaitu proses yang dapat merubah nilai parameter γ_2 dan γ_3 . Perubahan nilai parameter terlihat pada Tabel 4.9 pada kromosom ke-2.

Tabel 4.9 Mutasi kromosom

No. FAD	Jarak	γ_2	γ_3
1	60.0925	0.01	0.5
2	52.7046	0.01	0.0097
1	60.0925	0.01	0.01
2	52.7046	0.01	0.5
2	52.7046	0.01	0.5
1	60.0925	0.01	0.01

Tahap berikutnya adalah regenerasi dengan menambahkan hasil mutasi kromosom dengan 3 kromosom baru untuk FAD 3. Dan dimulasi proses yang sama mulai awal hingga jumlah regenerasi terpenuhi. Proses ini dilakukan untuk tiap kapal dan akan diketahui FAD mana yang terbaik bagi tiap kapal.

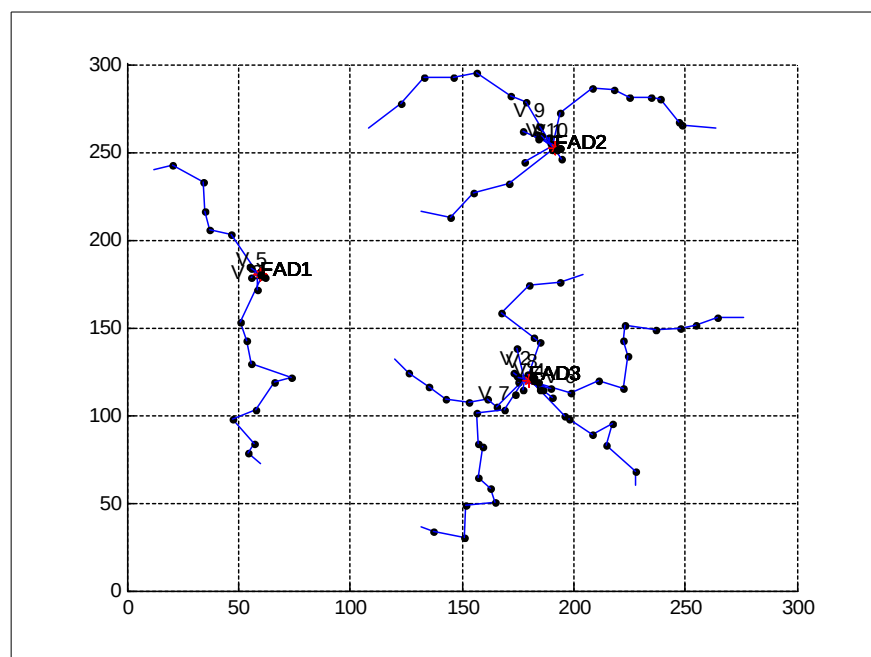
4.7 Skenario Pengujian

Skenario pengujian yang dilakukan dengan simulasi menggunakan 10 kapal dengan kecepatan sama 20 km/jam. Tiga lokasi FAD tersebar pada area 300×300 km dengan asumsi posisi FAD bersifat tetap dan posisi kapal berupa koordinat (x,y) telah diketahui. Tiga parameter simulasi yang menjadi masukan adalah banyaknya kapal dan FAD serta kecepatan kapal (Tabel 4.10).

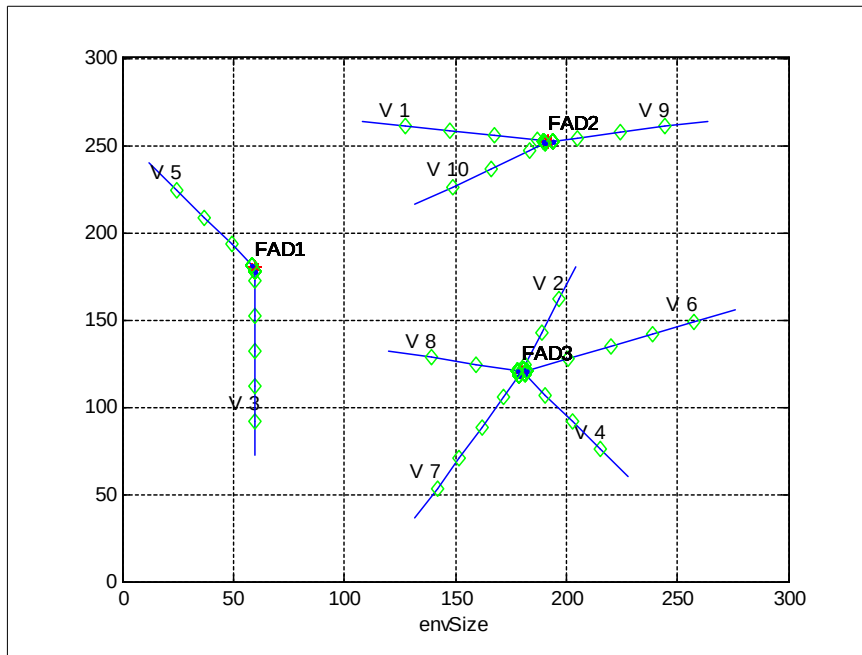
Pertimbangan 12 kondisi tiap FAD ditentukan terlebih dahulu selama kapal menangkap ikan 12 jam. Kondisi ini mewakili kondisi lingkungan berupa cuaca (γ_2) dan ketinggian gelombang laut (γ_3). Asumsi lain adalah banyaknya ikan adalah sama untuk tiap area FAD. Pergerakan kapal menggunakan algoritma FA dan GA diperlihatkan pada Gambar 4.7 dan 4.8. Terlihat bahwa kedua pergerakan menuju FAD dalam 12 langkah. Pada pergerakan FA yang ditunjukkan pada Gambar 4.7, kapal menuju FAD bergeser arahnya karena adanya parameter acak b dibandingkan GA (Gambar 4.8) yang terlihat lurus menuju FAD. Peneliti mensimulasikan dalam 5 kali *running* dan tampilan hasil 12 langkah untuk FA memang berbeda semuanya.

Tabel 4.10 Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Jumlah kapal penangkap ikan	10
Jumlah FAD	3
Kecepatan kapal penangkap ikan (km/jam)	20



Gambar 4.7 Tampilan simulasi dengan optimasi FA area 300×300 km



Gambar 4.8 Tampilan simulasi dengan optimasi GA area 300×300 km

4.8 Pengujian Optimasi Rute FAD

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja komputasi kedua algoritma yang telah diterapkan untuk memilih FAD dengan mempertimbangkan jarak dan kondisi lingkungan FAD. Kompleksitas waktu (*time complexity*) diperhitungkan. Hasil ini diperoleh dengan melakukan langkah sebanyak 12 kali untuk tiap kapal mencapai FAD untuk kedua metode dan dilakukan *running* simulasi sebanyak 50 kali. Sedangkan untuk GA pembangkitan generasi sebanyak 5 kali. Kinerja lainnya adalah akurasi kedua algoritma dan jarak yang ditempuh untuk tiap langkah dalam memprediksi jarak terhadap lokasi FAD. Dari Tabel 4.11 dan 4.12, dapat disimpulkan bahwa GA memerlukan waktu lebih lama dibandingkan FA dan pada *running* 50 dan 100 kali ternyata kedua algoritma menunjukkan hasil yang serupa.

Pada Tabel 4.13 menunjukkan bahwa prediksi jarak ke FAD menggunakan algoritma FA masih jauh dari jarak sebenarnya. Bila dibandingkan dengan prediksi jarak ke FAD dengan menggunakan GA masih lebih baik dan tingkat akurasi lebih tinggi dibanding FA. Hal ini menunjukkan tingkat keakuratan kedua algoritma optimasi rute lokasi FAD.

Tabel 4.11 Kompleksitas waktu setelah 100 kali *running*

	FA	GA
Nilai Terbaik	0.0276 s	0.5351 s
Nilai Terburuk	0.0462 s	1.1816 s
Rata-rata	0.0344 s	0.70437 s

Tabel 4.12 Kompleksitas waktu setelah 50 kali *running*

	FA	GA
Nilai Terbaik	0.0276 s	0.5351 s
Nilai Terburuk	0.0431 s	0.9838 s
Rata-rata	0.0339 s	0.7013 s

Untuk mendapatkan nilai keakuratan kedua algoritma dalam memprediksi (*forecasting*) jarak ke lokasi FAD dibanding jarak sebenarnya, maka dilakukan perhitungan *mean absolute percent error* (MAPE) dengan persamaan sebagai berikut.

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{d_i - \hat{d}_i}{d_i} \right| \right) \times 100\% \quad (4.3)$$

di mana d_i menyatakan jarak aktual kapal penangkap ikan i terhadap posisi FAD. Sedangkan \hat{d}_i menyatakan prediksi jarak kapal i terhadap posisi FAD. Hasil perhitungan MAPE diperlihatkan pada Tabel 4.13 dengan menambahkan penghalang (*obstacle*) pada algoritma GA. Tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai MAPE GA lebih kecil dibandingkan FA. Kedua algoritma melakukan proses optimasi yang menampilkan hasil lengkap dan optimal dalam menentukan FAD terbaik bagi sebuah kapal. FA memiliki lebih sedikit proses komputasi dibanding GA dengan konsumsi waktu yang sedikit, namun tingkat keakurasian lebih rendah dibanding GA. Pergerakan kapal dipengaruhi oleh kondisi gelombang air laut dan cuaca, sehingga pada simulasi, peneliti menambahkan penghalang/*obstacle* sehingga hasil diharapkan mendekati keadaan realnya. Peneliti juga melakukan simulasi tanpa menambahkan penghalang dalam GA dan hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai MAPE sangat kecil (Tabel 4.14).

Tabel 4.13 Nilai MAPE FA dan GA setelah 50 kali *running*

	FA	GA
Nilai Terbaik	9.56%	0.54%
Nilai Terburuk	74.35%	25.5%
Rata-rata	18.66%	7.38%

Tabel 4.14 Nilai MAPE (%) tanpa penghalang

Simulasi	GA		
Langkah	1	2	3
1	0.3419×10^{-11}	0.3419×10^{-11}	0.3419×10^{-11}
2	0.0595×10^{-11}	0.0595×10^{-11}	0.0595×10^{-11}
3	0	0	0
4	0.1094×10^{-11}	0.1094×10^{-11}	0.1094×10^{-11}
5	0.2316×10^{-11}	0.2316×10^{-11}	0.2316×10^{-11}
6	0.4008×10^{-11}	0.4008×10^{-11}	0.4008×10^{-11}
7	0.1613×10^{-11}	0.1613×10^{-11}	0.1613×10^{-11}
8	0.5404×10^{-11}	0.5404×10^{-11}	0.5404×10^{-11}
9	0.346×10^{-11}	0.346×10^{-11}	0.346×10^{-11}
10	0.6575×10^{-11}	0.6575×10^{-11}	0.6575×10^{-11}
Rata-rata MAPE	0.2848×10^{-11}	0.2848×10^{-11}	0.2848×10^{-11}

Mengacu pada hasil simulasi, pergerakan kapal penangkap ikan tidak selalu menempuh jarak tempuh kapal tersebut yang disebabkan oleh ombak atau tinggi gelombang laut sehingga memperlambat kecepatan kapal. Dilihat dari perhitungan posisi kapal langkah ke-2 simulasi ke-1 dan 2 untuk kapal 1 hingga 5 (V_1, \dots, V_5) pada Tabel 4.15 memperlihatkan jarak tempuh yang dapat dicapai kapal untuk kedua algoritma. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa pada langkah ke-2, dengan metode FA, jarak yang ditempuh maksimum 35 km sedangkan jarak minimum yang ditempuh adalah 14.128 km. Bila diperhatikan pada hasil simulasi menggunakan GA, jarak yang ditempuh dapat mencapai jarak maksimum 40 km, dengan parameter simulasi per jam telah mencapai jarak maksimum 20 km. Juga terlihat bahwa pada GA hasil yang didapatkan juga hampir sama untuk kedua simulasi.

Tabel 4.15 Jarak tempuh langkah ke-2 FA

Kapal	Posisi Awal (x,y)	Sim 1 (x,y)	Jarak (km)	Sim 2 (x,y)	Jarak (km)
1	(108,264)	(122,265.90)	14.128	(122.97,291.09)	30.951
2	(204,180)	(203.76,165.69)	14.312	(187.98,164.05)	22.606
3	(60,72)	(73.41,90.64)	22.96	(73.75,83.93)	18.204
4	(228,60)	(246.49,90.48)	35.65	(220.30,88.55)	29.570
5	(12,240)	(11.59,223)	17.0	(16.22,239.07)	4.321

Tabel 4.16 Jarak tempuh langkah ke-2 GA

Kapal	Posisi Awal (x,y)	Sim 1 (x,y)	Jarak (km)	Sim 2 (x,y)	Jarak (km)
1	(108,264)	(147.59,258.34)	39.992	(147.60,258.34)	39.992
2	(204,180)	(189.14,142.86)	40.00	189.14,142.86)	40.00
3	(60,72)	(60,112)	40.00	(60,112)	40.00
4	(228,60)	(203.01,91.23)	39.9977	(203.01,91.23)	39.9977
5	(12,240)	(36.99,208.76)	33.465	(36.99,208.7)	33.465

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

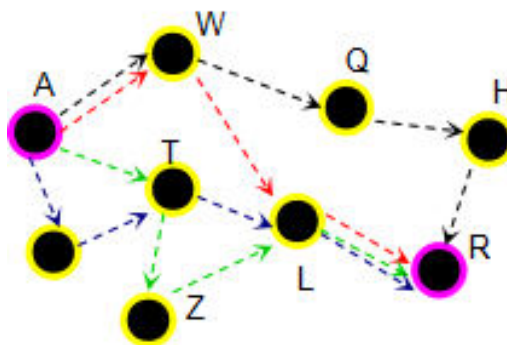
BAB 5

PEMODELAN OPTIMASI RUTE TRAFIK DATA BERBASIS *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

5.1 Metode Pemodelan Optimasi Rute Jaringan Dinamik

Sejak tahun 2010 hingga 2015, penelitian tentang pengembangan PSO sangat signifikan, karena pendekatan ini mudah, sederhana penerapannya pada masalah *multi-objective* dalam berbagai aplikasi. Adapun keunggulan lainnya adalah lebih efisien secara komputasi yang terinspirasi dari perilaku sekelompok burung (*bird flock*), kawanan ikan (*fish school*), serta interaksi sosial di antara mereka dan mengatasi berbagai masalah yang tidak teratur dan kompleks seperti *noise* dan berubah menurut waktu [96]. Sedangkan penelitian yang menerapkan algoritma pencarian *chaos* yang merujuk pada teori *chaos* juga telah dilakukan agar terhindar dari solusi yang belum optimal [77]. Oleh karena itu, pemodelan optimasi rute menjadi fokus investigasi dengan mengusulkan algoritma optimasi trafik data dengan pendekatan PSO dan kondisi *chaos* yang direpresentasikan sebagai kondisi kapal yang sedang dalam keadaan *off* dalam jaringan dinamik.

Ketersediaan rute ditunjukkan dalam Gambar 5.1, di mana terdapat beberapa alternatif rute dari *node* asal A ke tujuan R. Pemilihan rute dengan berbagai pertimbangan jarak ke tujuan menjadi fokus utama penelitian bagian ini. Dengan pendekatan teknik optimasi, pemilihan rute menjadi lebih cepat terselesaikan.



Gambar 5.1 Pemilihan rute pada jaringan dari A ke R

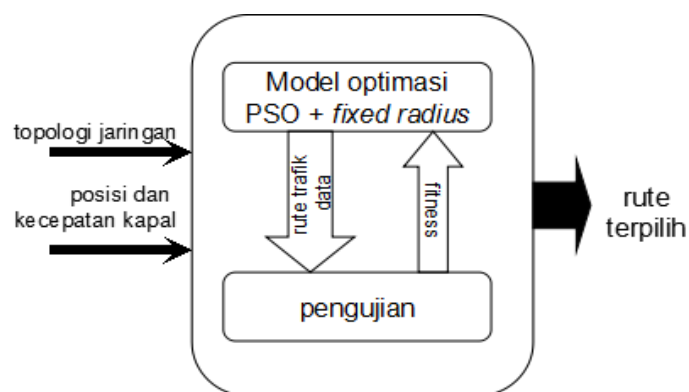
5.2 Framework Optimasi Rute Trafik Data dengan PSO

Chaos adalah fenomena umum pada sistem bukan linear (*non-linear*), di mana aksinya kompleks dan acak. Pada kasus jaringan ini, *chaos* direpresentasikan sebagai keadaan di mana anggota jaringan yaitu kapal-kapal tidak dalam keadaan aktif dan memiliki pergerakan mandiri yang dapat dengan mudah bergabung atau keluar meninggalkan kelompoknya.

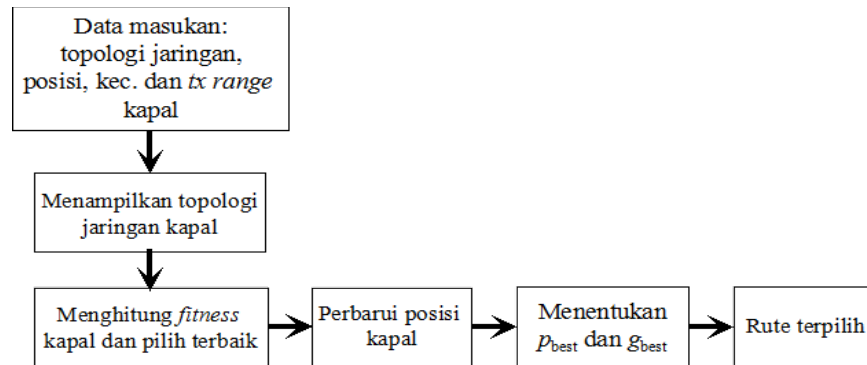
Pemodelan optimasi rute trafik data dengan PSO pada jaringan dinamik dikombinasikan dengan model *fixed radius* untuk topologinya, sebagai model realistik jaringan nirkabel dinamik. Model ini terbagi dalam dua bagian, yaitu model optimasi, yang digunakan untuk mencari solusi terbaik dengan menggunakan PSO dan *fixed radius*, serta pengujian. Adapun karakteristik kapal yang dinamis dinyatakan dalam 2 parameter yaitu cakupan transmisi kapal (*Tx range*) dan kecepatan kapal (*ship's speed*). Framework optimasi trafik rute menggunakan PSO ditunjukkan pada Gambar 5.2.

5.3 Model Optimasi Rute Trafik Data dengan PSO

Optimasi rute yang diusulkan berdasarkan *framework* Gambar 5.2 adalah kombinasi model *fixed radius* dan PSO yang disebut FPSO. Model *fixed radius* adalah model tiap kapal yang memiliki cakupan transmisi yang sama, sehingga membatasi kemampuan pengiriman pesan ke tetangganya. Adapun blok diagram optimasi rute FPSO dapat dijelaskan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.2 *Framework* optimasi rute trafik data dengan PSO



Gambar 5.3 Optimasi rute trafik data dengan PSO

Adapun langkah optimasi untuk mendapatkan rute trafik data menggunakan PSO sebagai berikut:

Langkah 1: Inisialisasi, termasuk posisi awal kapal, ukuran *swarm*, X_{min} , X_{max} , K_{max} , awal kecepatan 0, cakupan transmisi ($Tx\ range$), dan kondisi *chaos* dengan implementasi matriks *on-off*.

Langkah 2: Menampilkan posisi awal semua kapal.

Langkah 3: Menghitung *fitness* tiap kapal dan memilih *fitness* terbaik sebagai lokal optimum (p_{best}).

Langkah 4: Memperbarui posisi tiap kapal sesuai persamaan 2.9 sesuai dengan ruang pencarian persamaan 2.10.

Langkah 5: Mengevaluasi kapal yang telah diperbarui untuk mendapatkan lokal terbaik (p_{best}) dan global terbaik (g_{best}).

Langkah 6: Mengakhiri proses ketika telah mendapatkan rute kapal tujuan.

Adapun fungsi *fitness* pada optimasi rute trafik data jaringan dinamik dipengaruhi oleh beberapa hal berikut:

1. Jarak yang terpendek diperlukan karena dapat berdampak ke waktu dan kuat sinyal yang diterima. Semakin panjang rute yang ditempuh akan membutuhkan waktu lebih lama untuk pengiriman informasi sampai ke tujuan, apalagi dengan penggunaan frekuensi HF yang sangat dipengaruhi oleh atmosfer bumi.

2. Banyaknya kapal relai yang digunakan untuk mencapai tujuan. Semakin banyak kapal relai yang diperlukan, semakin besar *delay* untuk transmisi informasi. Oleh karena itu, sedikit jumlah kapal relai menjadikan pengiriman pesan menjadi semakin cepat.

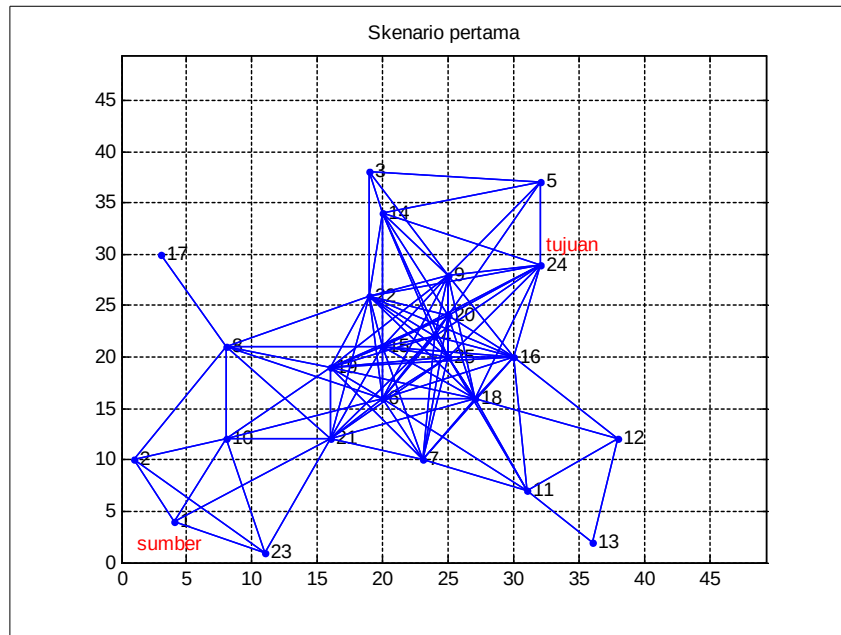
Fungsi *fitness* optimasi rute trafik data jaringan dinamis PSO sebagai berikut:

$$\arg \min_i f(x_i) = \sum_{i=1}^j D(x_{ij}) + d(x_j) \quad (5.1)$$

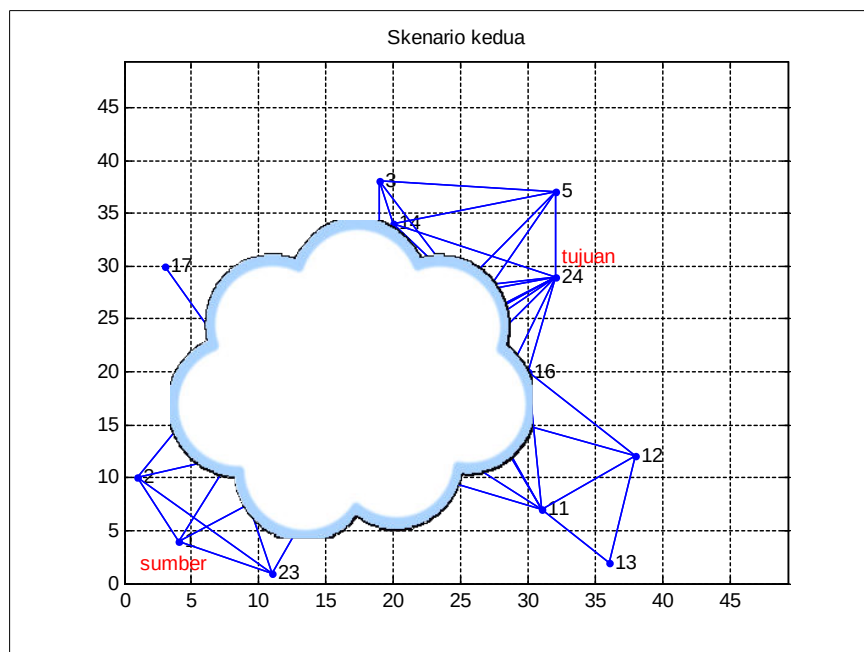
dengan $f(x_i)$ adalah fungsi *fitness* x_i , $D(x_{ij})$ menyatakan jarak antar kapal i ke j dengan menggunakan rumus *Euclidean*, sedangkan $d(x_j)$ menyatakan jarak kapal relai terakhir terhadap kapal tujuan j .

5.4 Skenario dan Pengujian

Optimasi rute trafik data jaringan dinamik menerapkan dua skenario, yaitu membangkitkan secara acak 25 kapal dalam suatu area 50×50 km yang merepresentasikan luasan sedang dengan asumsi 2500 km^2 , dengan semua kapal memiliki konektifitas dengan kapal lainnya. Tiap kapal bergerak secara acak dengan kecepatan 5 km/jam. Topologi jaringan kapal maritim skenario pertama ditunjukkan pada Gambar 5.4. Kapal tersebar dalam area dengan V_1 sebagai kapal sumber dan V_{24} sebagai tujuan. Semua kapal terhubung dan dapat menjangkau beberapa kapal tetangganya. Skenario pertama ini untuk penerapan PSO secara umum. Pada skenario ini, semua kapal dalam keadaan aktif dan posisi kapal seperti tampak dalam gambar. Pada kedua skenario diterapkan model *fixed radius* dengan asumsi *Tx range* semua kapal adalah sama yaitu 15 km. Pergerakan diatur dengan pergeseran pada simulasinya, sehingga lebih realistik. Pemilihan topologi jaringan seperti pada Gambar 5.4 dengan merepresentasikan kondisi 25 kapal yang berkumpul pada area/lokasi tempat pengumpul ikan (rumpon), kemudian bergerak menjauh mencari lokasi rumpon lain berdasarkan *sharing* informasi/pengalaman.



Gambar 5.4 Skenario pertama topologi jaringan area 50×50 km



Gambar 5.5 Skenario kedua topologi jaringan area 50×50 km

Kedua skenario pengujian dilakukan dengan menggunakan simulasi untuk mendapatkan hasil ketika kondisi dalam jaringan kapal berubah, seperti kapal yang berdekatan mematikan kapalnya untuk jaringan komunikasi saat menangkap ikan atau menghemat daya peralatan komunikasinya.

Pada skenario kedua, kapal tersebar seperti skenario pertama, namun khusus V_1 dan V_{24} tetap aktif, sedangkan kapal di antara V_1 dan V_{24} dibuat beberapa non-aktif. Pengaturan kapal yang aktif dan non-aktif dinyatakan dalam sebuah matriks *on-off* (Tabel 5.2) yang merupakan kondisi *chaos* (Gambar 5.5). Matriks *on-off* adalah matriks yang berisi kondisi tiap kapal dalam keadaan aktif atau tidak dalam 12 langkah. Langkah di sini sebagai representasi pergerakan dalam tiap jamnya sebagai kondisi nyata pergerakan kapal di laut. Pada skenario ini, pertama dinonaktifkan salah satu kapal yang terhubung dengan V_1 , kemudian dinonaktifkan dua kapal berikutnya, dan seterusnya. Peneliti ingin menginvestigasi dan mengeksplorasi metode PSO sebagai alternatif peluang algoritma yang mampu mengatasi kapal-kapal yang tidak aktif dalam komunikasi. Kapal yang tidak aktif ini merupakan representasi kapal yang *resource* dayanya habis atau salah satu cara sebuah kapal untuk menghemat daya dengan *off* terlebih dahulu.

Tabel 5.1 Parameter simulasi

Parameter	Nilai
Jumlah kapal	25
Kecepatan kapal (km/jam)	5
Cakupan transmisi (<i>Tx range</i>) km	15

Tabel 5.2 Matriks *on-off* kapal

Langkah Kapal	1	2	3	4	5	...	12
V_1	1	1	0	1	1	...	1
V_2	1	0	1	0	1	...	0
V_3	0	1	0	1	0	...	1
V_4	1	0	0	1	1	...	0
V_5	0	1	1	0	1	...	0
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots
V_{25}	0	0	1	1	1	...	1

5.5 Pengujian Algoritma PSO pada Jaringan Dinamik

Pengujian penerapan algoritma PSO pada jaringan dengan simulasi pada area persebaran 50×50 km untuk suatu area berukuran sedang. Kecepatan kapal sebesar 5 km/jam dengan asumsi kapal bergerak dengan kecepatan sangat rendah. Dengan menetapkan posisi awal masing-masing kapal dalam jaringan, kemudian setiap kapal bergerak secara acak yang dapat mendekati kapal tetangganya atau malah menjauh dari kelompoknya. Setelah itu, dari kapal sumber V_1 sebelum mengirim data ke kapal tujuan, kapal sumber memastikan terlebih dahulu rute-rute yang tersedia, kemudian menentukan pilihan rute sebagai jalur trafik datanya. Hasil simulasi dengan menggunakan metode PSO ditunjukkan pada Tabel 5.3. Simulasi ini dilakukan dengan menetapkan kapal tujuan selain V_1 .

Peneliti juga melakukan simulasi dengan memperbesar kecepatan (20 km/jam). Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin bertambah besar kecepatan kapal dalam sebuah jaringan, maka jarak yang ditempuh untuk mencapai kapal tujuan dapat semakin pendek ataupun semakin jauh. Hal ini disebabkan pergerakan kapal tetangga/relai dapat mendekati atau makin menjauh dari kapal tujuan. Beberapa hal yang menjadi perhatian pada Tabel 5.3 sebagai berikut:

- Sebuah kapal dapat menjangkau kapal tujuan pada jarak 14.5 km, ini ditunjukkan pada kapal tujuan V_{23} , dengan jarak 14.4806 km atau pada kapal tujuan V_{21} jarak yang masih tercakup dalam *Tx range* sebesar 14.49 km. Sedangkan jarak terpendek yang ditempuh kapal menuju tujuan tanpa relai adalah 4.61697 km.
- Semakin bertambah jumlah kapal relainya, semakin jauh jarak antara kapal sumber ke tujuan. Hal ini dapat dilihat seperti pada kapal tujuan V_3 dengan jarak yang ditempuh hingga 41.14 km untuk 2 relai dan 47.898 km untuk 3 relai.
- Untuk mencapai kapal tujuan, maksimum kapal relai yang diperlukan hanya 3. Dari hasil simulasi, menuju 24 kapal tujuan diperlukan maksimum 3 kapal relai dengan jarak 47.898 km.
- Terdapat 3 kapal tujuan yang terhubung secara langsung dengan kapal

sumber V_1 , yaitu: V_2 , V_{10} , V_{21} , dan V_{23} .

Tabel 5.3 Hasil simulasi dengan menggunakan PSO

Kapal tujuan	Jumlah kapal relai	Jarak (km)
V_2	0	6.50191—7.79377
V_3	2	27.0938—41.1408
	3	44.3861—47.898
V_4	1	26.2733—27.2619
	2	27.5296—28.6704
V_5	2	43.4943—44.2365
	3	43.7605—45.8586
V_6	1	20.0791—21.4901
V_7	1	20.7609—28.2158
V_8	1	17.2686—23.2352
V_9	2	32.4292—33.8001
V_{10}	0	8.6378—9.70528
V_{11}	2	30.2409—38.0152
V_{12}	2	35.8238—39.6303
	3	41.0352—46.7739
V_{13}	2	34.0319—41.9608
	3	37.3017—45.683
V_{14}	2	36.7992—36.9765
	3	39.8888—40.2173
V_{15}	1	24.0585—24.349
	2	24.2129—25.5579
V_{16}	2	31.1269—36.9044
V_{17}	2	27.0938—30.3554
V_{18}	1	26.1269—29.1201
	2	31.3114—32.304
V_{19}	1	19.8704—21.807
V_{20}	1	28.6201—29.5099
	2	29.4645—32.0585
V_{21}	0	14.4222—14.4949
V_{22}	1	28.7344—28.8369
	2	27.4515—29.1027
V_{23}	0	4.61697—14.4806
V_{24}	2	36.9956—38.0666
	3	38.1088—43.518
V_{25}	1	26.4638—27.3399
	2	28.4236—33.8747

Pada Tabel 5.4, memperlihatkan beberapa pilihan rute V_1 ke V_{24} yang memerlukan kapal relai sebanyak 2 atau 3. Sesuai dengan persamaan 5.1, nilai fungsi tujuan yang dipilih adalah kapal yang memiliki nilai yang paling pendek (rute 1), yaitu jarak yang ditempuh total 37.8585 km, sedangkan antar relai jarak terpendeknya adalah 10.6301 km. Bila dilihat untuk rute 2, jarak antar relai mencapai jarak terpendeknya 8.60233 km. Simulasi juga dilakukan pada cakupan transmisi ($Tx\ range$) < 15 km. Ternyata kapal relai yang diperlukan lebih banyak dibandingkan ketika kapal relai memiliki $Tx\ range$ 15 km. Beberapa pilihan rute menuju V_{24} tersebut, PSO dapat menentukan pilihan terbaik dengan pertimbangan jarak terpendek dari total relai. Implementasi PSO pada pemilihan rute trafik data tidak memperbarui kecepatan masing-masing kapal, namun hanya perbarui posisi. Sedangkan pada skenario ke-2, ketika salah satu kapal tetangga *off*, jaringan akan menjadi kacau. Pada skenario ini diatur dengan mematikan (*off*) 1 kapal, bertambah 2 kapal dan seterusnya. Kondisi ini memungkinkan rute yang ditemukan menjadi berbeda atau rute menjadi putus untuk mencapai kapal tujuan. Beberapa rute yang tersedia ketika V_{21} *off*. Beberapa pilihan rute kapal hasilnya diperlihatkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.4 Pilihan rute trafik data kapal

Rute	Kapal	Jarak (km)	Total (km)
1	$V_1 - V_{21}$	14.4222	37.8585
	$V_{21} - V_4$	12.8062	
	$V_4 - V_{24}$	10.6301	
2	$V_1 - V_{21}$	14.4222	38.0667
	$V_{21} - V_{20}$	15.0423	
	$V_{20} - V_{24}$	8.60233	
3	$V_1 - V_{10}$	8.9443	41.6645
	$V_{10} - V_6$	12.6491	
	$V_6 - V_9$	13.0000	
	$V_9 - V_{24}$	7.0711	
4	$V_1 - V_{10}$	8.9443	42.8296
	$V_{10} - V_{19}$	10.6301	
	$V_{19} - V_{16}$	14.0357	
	$V_{16} - V_{24}$	9.21954	

Tabel 5.5 Rute tersedia ketika V_{21} off

Rute	Kapal	Jarak (km)	Total (km)
1	$V_1 - V_{10}$	8.9443	41.6645
	$V_{10} - V_6$	12.6491	
	$V_6 - V_9$	13.0000	
	$V_9 - V_{24}$	7.0711	
2	$V_1 - V_{23}$	7.61577	44.0419
	$V_{23} - V_7$	15.0000	
	$V_7 - V_{16}$	12.2066	
	$V_{16} - V_{24}$	9.2195	
3	$V_1 - V_2$	6.7082	45.1713
	$V_2 - V_8$	13.0384	
	$V_8 - V_{22}$	12.083	
	$V_{22} - V_{24}$	13.3417	
4	$V_1 - V_{10}$	8.9443	38.4723
	$V_{10} - V_{19}$	10.6301	
	$V_{19} - V_{20}$	10.2956	
	$V_{20} - V_{24}$	8.60233	
5	$V_1 - V_{10}$	8.9443	42.82964
	$V_{10} - V_{19}$	10.6301	
	$V_{19} - V_{16}$	14.0357	
	$V_{16} - V_{24}$	9.21954	

Beberapa alternatif rute yang ada pada Tabel 5.5, dipilih yang memiliki jarak terpendek. Pada rute 1, terlihat jumlah relai lebih banyak dibanding Tabel 5.4, dengan V_{21} off, jumlah relai menjadi 3 yang semula hanya 2. Total jarak rute 1 (Tabel 5.4) hanya 37.8585 km sekarang menjadi 41.6645 km. Jarak terpendek adalah 7.0711 km dan terjauh adalah 13 km. Dari kedua tabel dapat disimpulkan sebagai berikut:

- jarak yang ditempuh oleh V_1 lebih jauh untuk mencapai tujuan karena terdapat satu kapal yang tidak aktif.
- Alternatif rute terpendek dapat dicapai ketika semua kapal aktif, yaitu 37.8585, sedangkan ketika V_{21} off rute terpendek mencapai jarak 38.4723 km.

Ketika V_{21} dan V_{10} dinonaktifkan, maka rute alternatif seperti tampak pada Tabel 5.6. Pada Tabel 5.6, jarak terpendek yang dapat ditentukan untuk mencapai kapal tujuan adalah 44.0419 km. Selisih jarak dengan Tabel 5.5 adalah $45.3605 - 38.4728 = 6.8877$ km. Terlihat pula bahwa cakupan transmisi terjauh dalam kondisi dua kapal dinonaktifkan mencapai 15.00 km, sesuai dengan cakupan transmisi ($Tx\ range$) yang telah ditetapkan awal simulasi. Jumlah relai juga meningkat menjadi 4 hingga 5 relai. Jarak rute dari kapal sumber hingga tujuan dari 44.0419 hingga 59.5282 km dengan jumlah relai 3 hingga 4. Dengan algoritma PSO, sesuai fungsi *fitness*-nya maka rute 1 yang terpilih menjadi rute trafik data terbaik. Jarak menjadi pertimbangan utama karena berpengaruh pada kualitas sinyal yang diterima. Adapaun hasil simulasi ketika tiga kapal dinonaktifkan (*off*), contohnya diringkas dalam Tabel 5.7.

Tabel 5.6 Rute tersedia ketika V_{21} dan V_{10} *off*

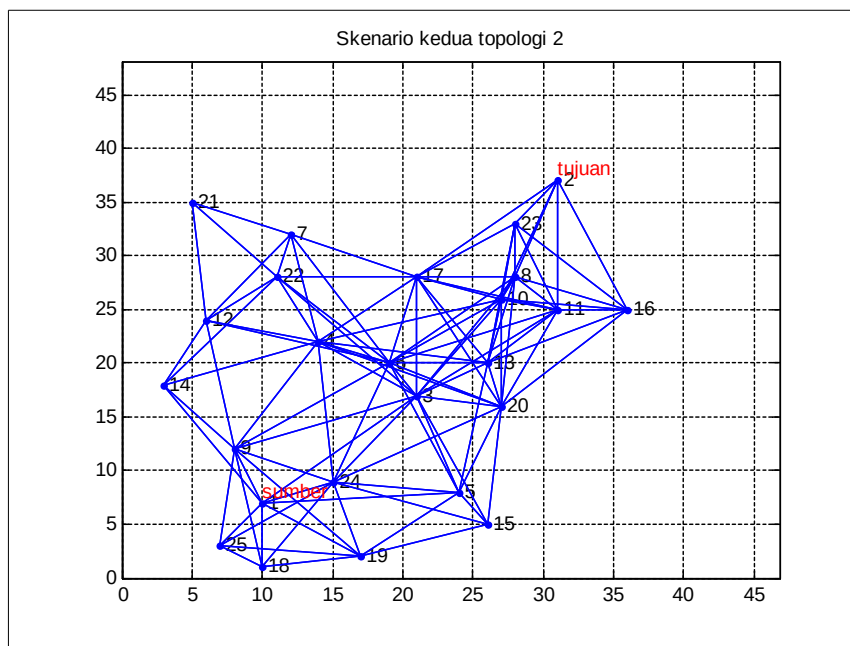
Rute	Kapal	Jarak (km)	Total (km)
1	$V_1 - V_{23}$	7.61577	44.0419
	$V_{23} - V_7$	15.0000	
	$V_7 - V_{16}$	12.2066	
	$V_{16} - V_{24}$	9.2195	
2	$V_1 - V_2$	6.7082	45.1713
	$V_2 - V_8$	13.0384	
	$V_8 - V_{22}$	12.083	
	$V_{22} - V_{24}$	13.3417	
3	$V_1 - V_{23}$	7.6115	59.5282
	$V_{23} - V_2$	13.4536	
	$V_2 - V_8$	13.0384	
	$V_8 - V_{22}$	12.0830	
	$V_{22} - V_{24}$	13.3417	
4	$V_1 - V_{23}$	7.61577	45.3605
	$V_{23} - V_7$	15.0000	
	$V_7 - V_{20}$	14.1421	
	$V_{20} - V_{24}$	8.60233	
5	$V_1 - V_{23}$	7.61577	48.4398
	$V_{23} - V_7$	15.0000	
	$V_7 - V_{15}$	11.4018	
	$V_{15} - V_{24}$	14.4222	

Tabel 5.7 Rute tersedia ketika V_{21} , V_{10} , dan V_{23} off

Rute	Kapal	Jarak (km)	Total (km)
1	$V_1 - V_2$	6.7082	45.1713
	$V_2 - V_8$	13.0384	
	$V_8 - V_{22}$	12.083	
	$V_{22} - V_{24}$	13.3417	
2	$V_1 - V_2$	6.7082	46.42222
	$V_2 - V_8$	13.0384	
	$V_8 - V_{15}$	12.000	
	$V_{15} - V_{24}$	14.4222	
3	$V_1 - V_2$	6.7082	52.8177
	$V_2 - V_8$	13.0384	
	$V_8 - V_6$	13.0000	
	$V_6 - V_9$	13.0000	
	$V_9 - V_{24}$	7.0711	
4	$V_1 - V_2$	6.7082	46.89074
	$V_2 - V_8$	13.0384	
	$V_8 - V_{19}$	8.24621	
	$V_{19} - V_{20}$	10.2956	
	$V_{20} - V_{24}$	8.60233	
5	$V_1 - V_2$	6.7082	48.45001
	$V_2 - V_8$	13.0384	
	$V_8 - V_{19}$	8.24621	
	$V_{19} - V_{25}$	9.0554	
	$V_{25} - V_{24}$	11.4018	

Merujuk pada hasil simulasi Tabel 5.7 ketika beberapa kapal dinonaktifkan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Kapal relai yang diperlukan untuk mencapai tujuan dapat lebih banyak atau sama ketika kapal relai belum *off* namun jarak yang ditempuh semakin jauh.
- Begitu pula ketika cakupan transmisi diperkecil, maka rute mencapai tujuan semakin panjang karena kapal relai yang dibutuhkan semakin banyak.
- Total jarak terpendek mencapai kapal tujuan adalah 45.1713 km.



Gambar 5.6 Topologi jaringan lain area 50×50 km

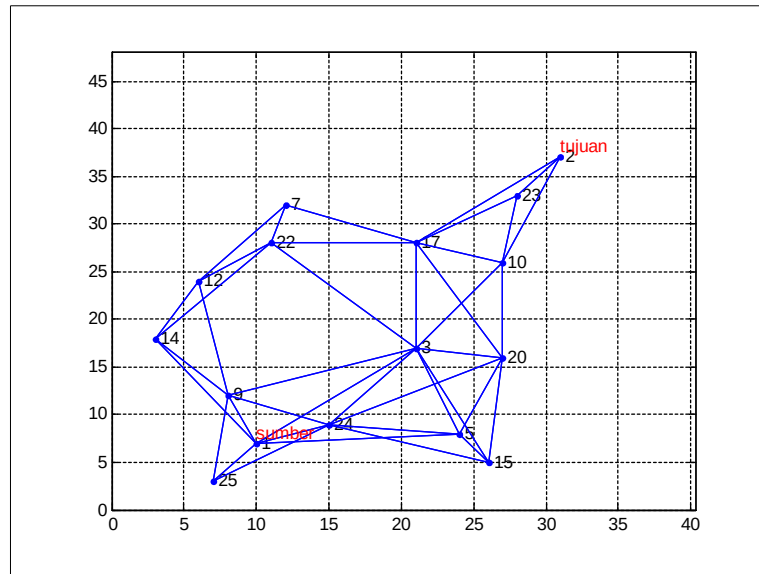
Bila dibandingkan kedua skenario dan implementasi metode, kondisi topologi jaringan memang berbeda. Skenario ke-2 lebih kompleks untuk konfigurasi kapal *on-off*, sehingga hasil simulasi menghasilkan hal berbeda. Dengan menonaktifkan salah satu V_{21} , rute yang dipilih menuju V_{24} menjadi lebih panjang. Kondisi makin diperburuk dengan menonaktifkan kapal lain, sehingga rute yang dipilih semakin panjang. Penerapan PSO dapat dipergunakan untuk kondisi jaringan yang dinamis.

Bentuk topologi lain dibangkitkan untuk skenario ke-2 ditunjukkan pada Gambar 5.6, di mana topologi jaringan semua kapal aktif. Saat semua kapal aktif, rute trafik data dari V_1 ke V_2 melalui 2 kapal, yaitu V_3 dan V_8 dengan total jarak 37.3913 km. Kemudian, dibuat 9 kapal *off*, topologi berubah pada Gambar 5.7(a), setelah itu kapal *off* menjadi 12 (Gambar 5.7(b)).

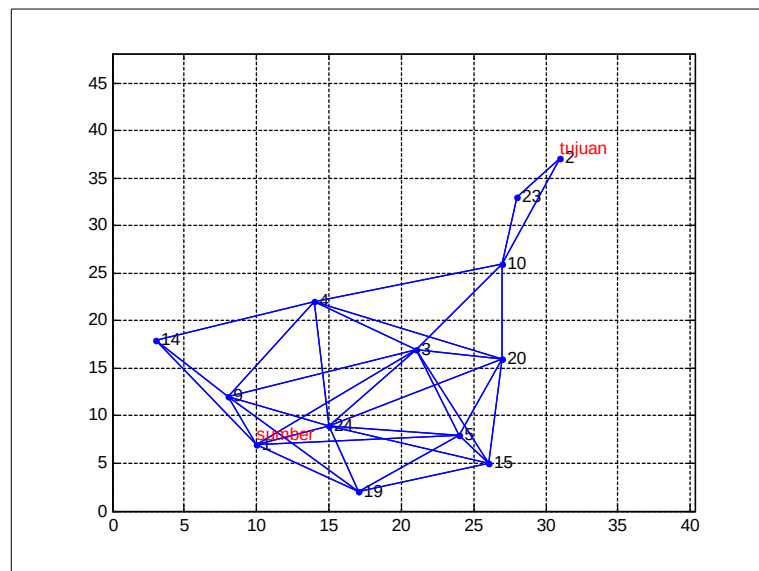
Gambar 5.7 menunjukkan bentuk topologi yang berbeda karena beberapa kapal menjadi *off*. Pada kondisi (a), V_4 , V_6 , V_8 , V_{11} , V_{13} , V_{16} , V_{18} , V_{19} , dan V_{21} *off*. Untuk mencapai V_2 , harus melewati V_3 dan V_{10} , dengan total jarak 37.3875 km. Sedangkan (b) kapal yang *off* adalah V_6 , V_7 , V_8 , V_{11} , V_{12} , V_{13} , V_{16} , V_{17} , V_{18} , V_{21} , V_{22} , dan V_{25} dengan total jarak 37.3875 km. Dapat dilihat, meski jumlah kapal semakin

banyak, namun kapal relai yang dilewati hanya dua dan total jarak sama karena kapal dalam jaringan selalu bergerak. Metode PSO ini mampu mencari rute yang tersedia yang total jaraknya mencapai tujuan adalah terpendek.

Peneliti juga menentukan kapal tujuan berbeda dalam topologi yang sama sesuai Gambar 5.7, di mana V_{10} sebagai tujuan. V_{10} aktif, namun kapal-kapal di antara V_1 dan V_{10} beberapa dalam keadaan *off* dan hasilnya terlihat pada Tabel 5.7.



(a) Topologi 9 kapal *off*



(b) Topologi 12 kapal *off*

Gambar 5.7 Topologi jaringan kapal kedua area 50×50 km

Tabel 5.8 memperlihatkan hasil simulasi di mana tidak semua kapal dalam keadaan aktif. Terdapat 10 langkah (iterasi) yang dilakukan, apakah rute dapat terpilih untuk tiap langkah karena pergerakan dan kondisi kapal relai yang dalam Tx range kapal sebelumnya atau tidak. Pemilihan rute untuk pengiriman data dapat dilakukan dengan menerapkan optimasi rute berbasis PSO, jumlah kapal relai yang dipilih yang paling sedikit dengan asumsi cepat mencapai tujuan dan kondisi kapal relai tanpa ada beban trafik. Dengan jumlah kapal aktif yang beragam dan jumlah kapal relai sedikit, maka total jarak antara V_{sumber} dan V_{tujuan} akan semakin kecil. Total jarak ketika semua kapal dalam kondisi aktif dengan beberapa kapal yang *off*, ternyata jarak masih sama. Karena kapal bergerak sehingga dapat memperpendek atau makin jauh dari kapal sumber atau tujuan. Seperti pada contoh langkah 5 dengan kapal aktif berjumlah 13, total jarak sama dengan jumlah kapal aktif 25. Terlihat meskipun jumlah kapal relai 2, namun total jarak menuju V_{10} sama dengan total jarak dengan menggunakan jumlah kapal relai 1. Kondisi ini menjadi lebih kompleks ketika Tx range diperkecil. Untuk 1 relai, jarak maksimum yang dapat ditempuh adalah 12.8 km. Sedangkan pada 2 relai, jarak maksimum dapat menjangkau hanya 10.8599 km. PSO dapat memilih rute terpendek meski banyak kapal relai yang dinonaktifkan. Ketika Tx range 13 km, maka hasil akan berubah dan terlihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.8 Hasil simulasi V_1 ke V_{10} (Tx range 15 km)

Langkah	Jumlah kapal aktif	Jumlah kapal relai	Total jarak (km)
1	25	1	25.6828
2	15	2	32.5797
3	15	1	25.6828
4	18	2	32.5797
5	13	1	25.6828
6	17	2	32.284
7	16	1	25.6828
8	15	2	32.5797
9	15	1	25.6828
10	18	2	25.6828

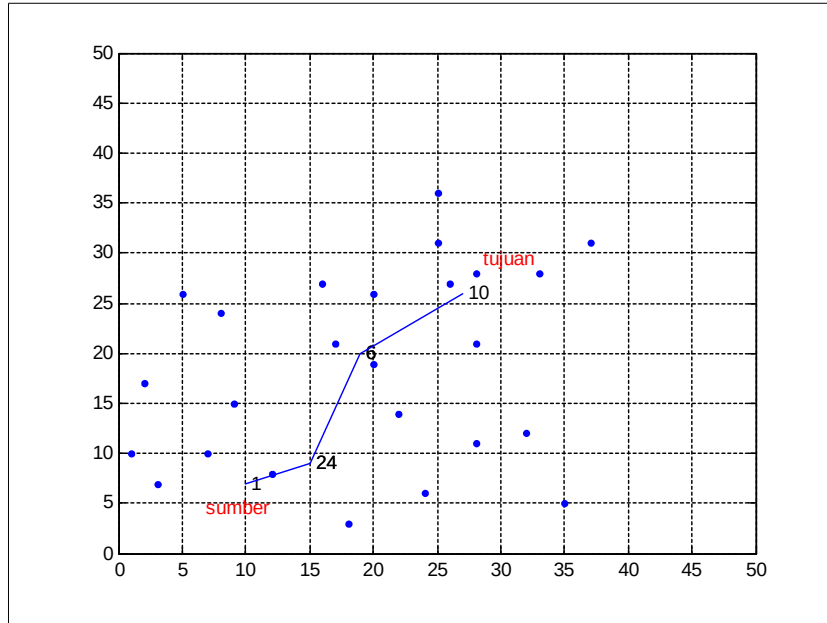
Tabel 5.9 Hasil simulasi V_1 ke V_{10} (Tx range 13 km)

Langkah	Jumlah kapal aktif	Jumlah kapal relai	Total jarak (km)
1	25	2	27.0899
2	15	3	32.9846
3	15	2	26.2018
4	18	2	27.0899
5	13	2	26.2018
6	17	3	32.6888
7	16	2	27.0899
8	15	3	32.9846
9	15	2	26.2018
10	18	2	27.0899

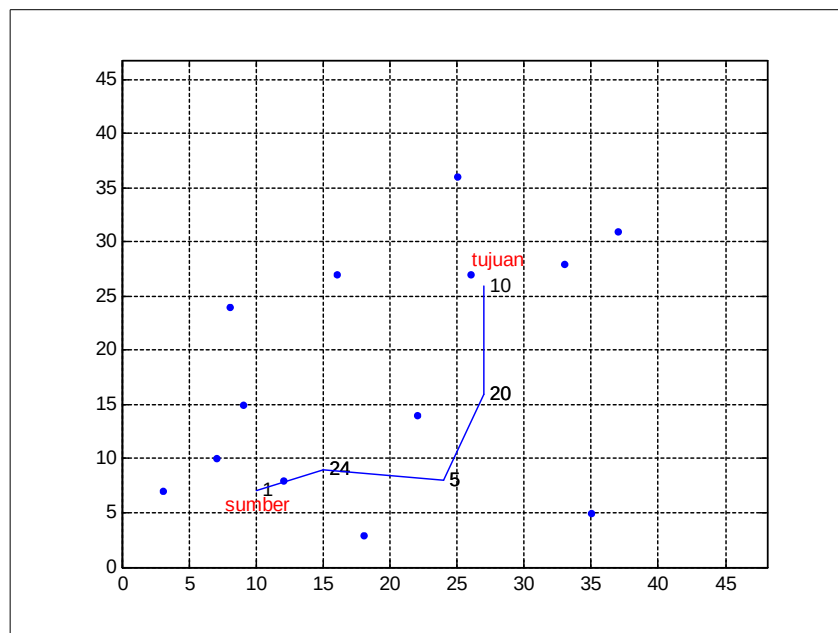
Tabel 5.10 Hasil simulasi V_1 ke V_{10} (Tx range 11 km)

Langkah	Jumlah kapal aktif	Jumlah kapal relai	Total jarak (km)
1	25	2	26.2018
2	15	3	32.9846
3	15	2	26.2018
4	18	3	32.9846
5	13	2	26.2018
6	17	3	32.9846
7	16	2	26.2018
8	15	3	32.9846
9	15	2	26.2018
10	18	3	32.9846

Hasil simulasi Tabel 5.9 dan 5.10 menunjukkan bahwa menuju V_{10} dengan Tx range 13 km dan 11 km, diperlukan sebanyak 2 hingga 3 relai. Total jarak terpendek yang ditempuh 26.2018 km dan terjauh 32.9840 km. Dari kedua tabel terlihat bahwa dengan semakin kecilnya Tx range, terdapat jumlah kapal relai semakin banyak, yaitu pada langkah 4 dan 10, dengan Tx range 13 km, jumlah kapal relai yang diperlukan adalah 2, namun untuk Tx range 11 km, jumlah kapal relai bertambah menjadi 3. Rata-rata untuk 2 relai, jarak yang ditempuh sekitar 8.7339 km, sedangkan pada 3 relai, rata-rata jarak yang dapat ditempuh adalah 8.24615 km, secara detail terlihat pada tampilan topologi jaringan Gambar 5.8.



(a) Pemilihan rute langkah 4 & 10 (Tx range 13 km)

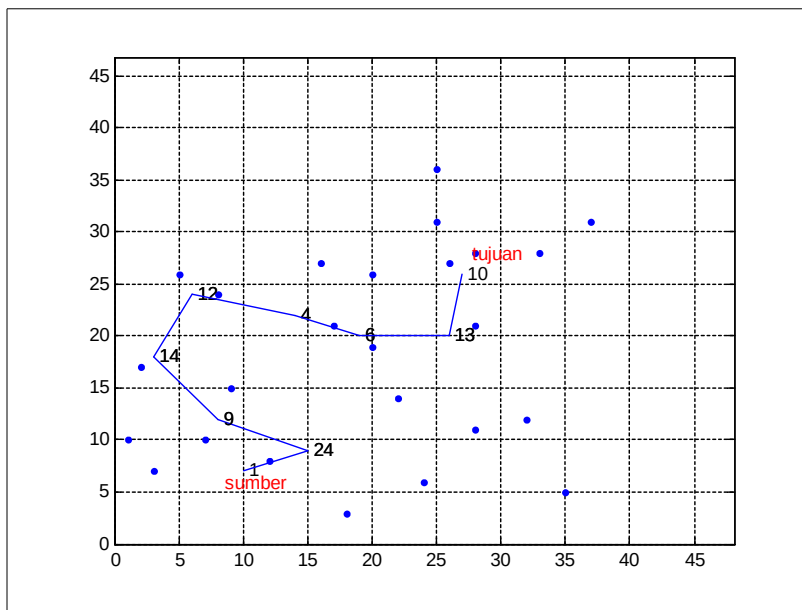


(b) Pemilihan rute langkah 4 & 10 (Tx range 11 km)

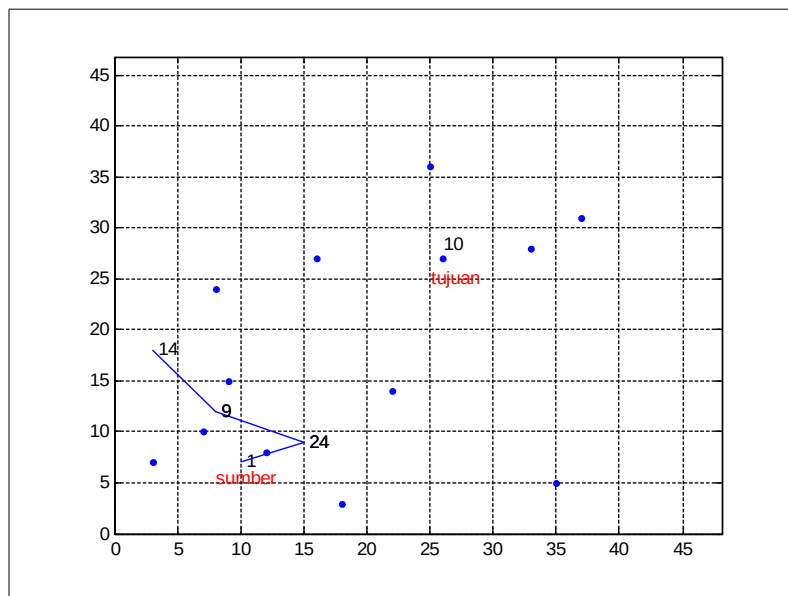
Gambar 5.8 Tampilan pemilihan rute

Dari Gambar 5.8, jelas terlihat bahwa pemilihan rute dari V_1 ke V_{10} memerlukan jumlah kapal relai yang lebih banyak pada saat Tx range semakin kecil. Namun demikian, hal ini terjadi tidak pada semua langkah. Pemilihan rute akan semakin banyak memerlukan kapal relai ketika Tx range sangat kecil. Peneliti melakukan

simulasi pada saat *Tx range* 9 km. Ternyata tampilan topologi jaringan sangat berbeda dan pemilihan rute hanya dapat dilakukan pada langkah 1 (Gambar 5.9). Pemilihan rute bermula dari V_1 , berlanjut V_{24} , V_9 , V_{14} , V_{12} , V_4 , V_6 , V_{13} dan berakhir di V_{10} . Terlihat bahwa jumlah kapal relai yang diperlukan adalah 7 kapal. Sedangkan pemilihan rute pada langkah 2 tidak dapat dilakukan karena tidak ada kapal dalam cakupan transmisi dan rute trafik data hanya sampai V_{14} (Gambar 5.10).



Gambar 5.9 Pemilihan rute langkah 1 pada *Tx range* 9 km



Gambar 5.10 Pemilihan rute langkah 2 terputus pada *Tx range* 9 km

Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa *Tx range* yang diperkecil terdapat dua poin penting yaitu:

1. Dengan semakin kecilnya *Tx range* sebuah kapal, maka jumlah kapal relai yang diperlukan semakin banyak untuk mencapai tujuan.
2. *Tx range* yang semakin kecil, sebuah kapal tidak dapat menjangkau kapal tetangganya dan berakibat pada putusnya *link* antar kapal, sehingga pemilihan rute dari yang tersedia tidak dapat dilakukan.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 6

IMPLEMENTASI BFG DAN PSO BERBASIS PERGERAKAN ALGORITMA GENETIKA PADA JARINGAN BERGERAK MARITIM

Optimasi rute trafik data dan destinasi dapat dilakukan dengan implementasi pergerakan berbasis GA dan trafik data berbasis PSO atau BFG pada jaringan bergerak maritim.

6.1 Persyaratan Desain

Beberapa pendekatan telah diajukan untuk menyelesaikan beberapa permasalahan seperti penemuan rute di jaringan nirkabel *ad hoc* dan dinamik, serta penentuan FAD. Untuk mendapatkan kinerja dari algoritma optimasi yang diusulkan, tentunya mengacu pada sebuah permasalahan dengan persyaratan desain yang sama. Adapun permasalahan yang dieksplorasi adalah penemuan rute (*route discovery*) pada jaringan nirkabel untuk kapal penangkap ikan tradisional (<30 GT) dengan menggunakan beberapa pendekatan, yaitu:

- *Breadth Fixed Gossip* (BFG)
- *Particle Swarm Optimization* (PSO)

dengan optimasi rute menuju lokasi tangkap ikan sesuai dengan algoritma Genetika. Sebelum melakukan pengujian dengan menggunakan optimasi keduanya, deskripsi persyaratan perlu dipertimbangkan dalam mendesain sebuah jaringan bergerak nirkabel.

Beberapa persyaratan perlu dipertimbangkan pada sebuah jaringan bergerak nirkabel:

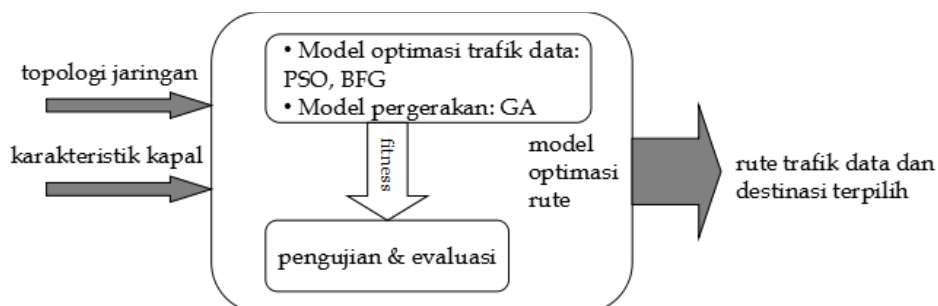
- a. **Aplikasi.** Jaringan nirkabel harus mendukung aplikasi pengguna, di mana aplikasi yang digunakan pengguna secara umum adalah *short messaging service* (SMS) dan telepon suara (*voice telephony*). Persyaratan aplikasi ini dapat mendukung dalam mendesain jaringan nirkabel khususnya *throughput*

dan teknologi yang digunakan dalam jaringan.

- b. **Lingkungan** (*environment*). Jaringan bergerak nirkabel ini didesain untuk keperluan komunikasi antar nelayan pada kapal penangkap ikan di laut (*outdoor area*).
- c. **Area cakupan** (*coverage area*). Nelayan memerlukan akses ke jaringan nirkabel yaitu berupa konektivitas sejak meninggalkan pelabuhan hingga area tangkapan ikan.
- d. **Pengguna akhir** (*end users*). Adapun pengguna akhir jaringan nirkabel ini adalah nelayan kapal penangkap ikan (<30 GT) yang bergerak dengan jarak tempuh 20 km/jam.
- e. **Infrastruktur yang tersedia** (*existing infrastructure*). Ketersediaan jaringan nirkabel (digunakan oleh nelayan untuk berkomunikasi) dan komunikasi bergerak maritim pada *bandwidth* HF/VHF.

6.2 Framework dan Model Optimasi Rute Trafik Data dan Destinasi

Gambar 6.1 memperlihatkan *framework* optimasi rute trafik data dan destinasi lokasi tangkapan ikan dengan menggunakan BFG dan PSO, di mana pergerakan kapal penangkap ikan menuju FAD berbasis pada algoritma genetika. *Framework* ini meliputi 2 bagian, pertama, pemodelan optimasi trafik data dan pergerakan, dengan peneliti menentukan model fungsi *fitness* yang dipergunakan untuk mendukung bagian kedua. Fungsi *fitness* didapatkan dari tujuan rute trafik data dan destinasi sekaligus. Dari berbagai alternatif yang tersedia dipilih rute yang terpendek dan kondisi lingkungan lokasi tangkapan ikan yang mendukung.

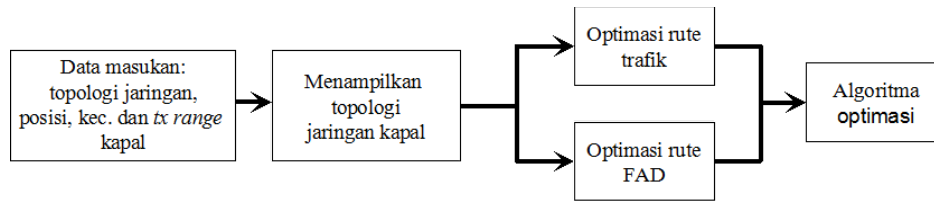


Gambar 6.1 *Framework* optimasi rute trafik data dan destinasi

Sedangkan bagian kedua, model diuji dengan kedua algoritma optimasi dan evaluasi. Adapun model fungsi tujuan mengacu pada persamaan 4.1 dan 5.1, keduanya adalah persamaan linier sehingga untuk optimasi trafik data dan lokasi tangkapan ikan dapat ditentukan fungsi tujuannya dan dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$\arg \min_i \quad w_1 x_i + w_1 C_i + w_3 G_i + \sum_{i=1}^j D(x_{ij}) + d(x_j) \quad (6.1)$$

Secara detail optimasi trafik data dan destinasi dapat dilihat pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2 Optimasi rute trafik data dan destinasi FAD

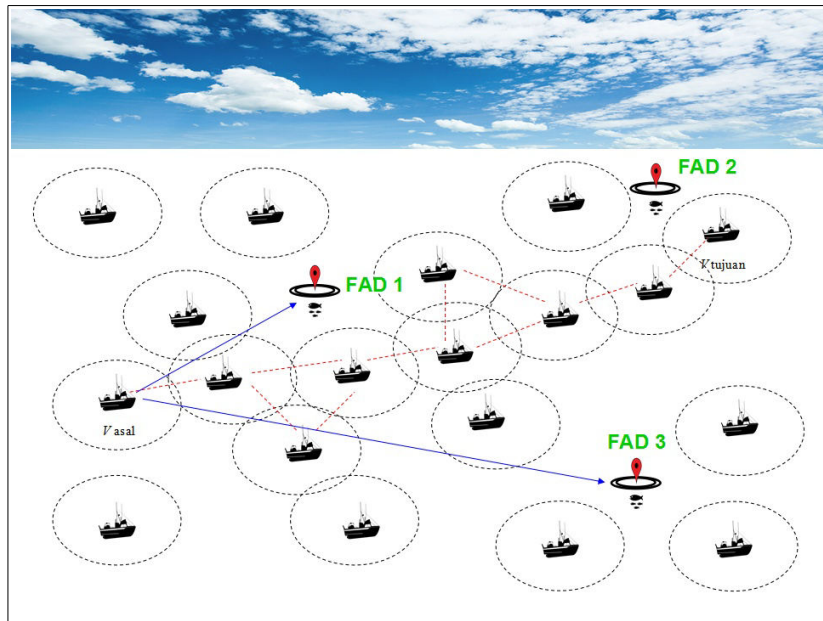
Pada Gambar 6.2, algoritma optimasi rute trafik data dan destinasi FAD yang dibangun adalah BFG-G dan PSO-G.

6.3 Pengujian Optimasi Rute Trafik Data dan Destinasi FAD

Pengujian optimasi rute BFG-G dan PSO-G dilakukan dengan menggunakan simulasi dengan skenario kapal penangkap ikan sebanyak 50 memiliki berat kotor yang sama di bawah 30 GT, dengan daya pancar dan *Tx range* yang sama tersebar dalam area 120×120 km seperti pada area tangkapan ikan di pantai selatan Pacitan dengan lokasi rumpon 40 – 70 mil (60 – 112 km) dari pelabuhan, tersebar menuju posisi FAD membentuk jaringan komunikasi di antara mereka dan menentukan rute trafik data ketika sebuah kapal ingin mengirimkan data ke lainnya. Kapal bergerak menuju FAD dengan asumsi selama 12 jam dan dinyatakan sebagai 12 langkah. Karena kapal tidak dilengkapi GPS, maka pusat *monitoring* di darat yang dapat memberikan informasi posisi kapal dan kondisi FAD. Konfigurasi skenario jaringan kapal bergerak maritim ditunjukkan pada Gambar 6.3. Untuk simulasi, parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 6.1, yaitu jumlah kapal, FAD, kecepatan dan *Tx range* kapal.

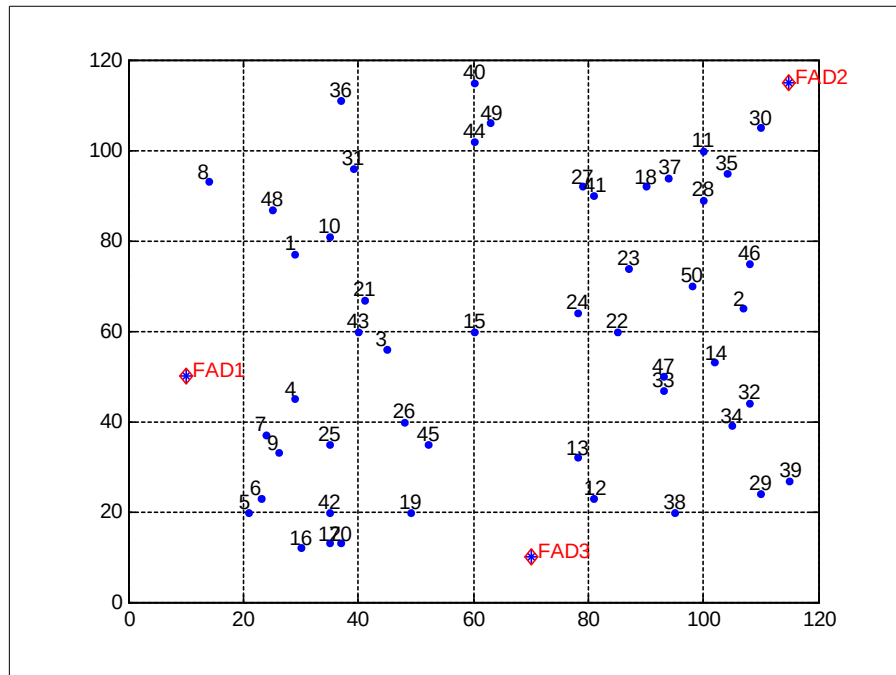
Tabel 6.1 Parameter simulasi optimasi rute BFG dan PSO

Parameter	Nilai
Jumlah kapal	50
Jumlah FAD	3
Jarak tempuh maksimum kapal per jam (km)	20
$Tx\ range$ kapal (km)	7 - 40

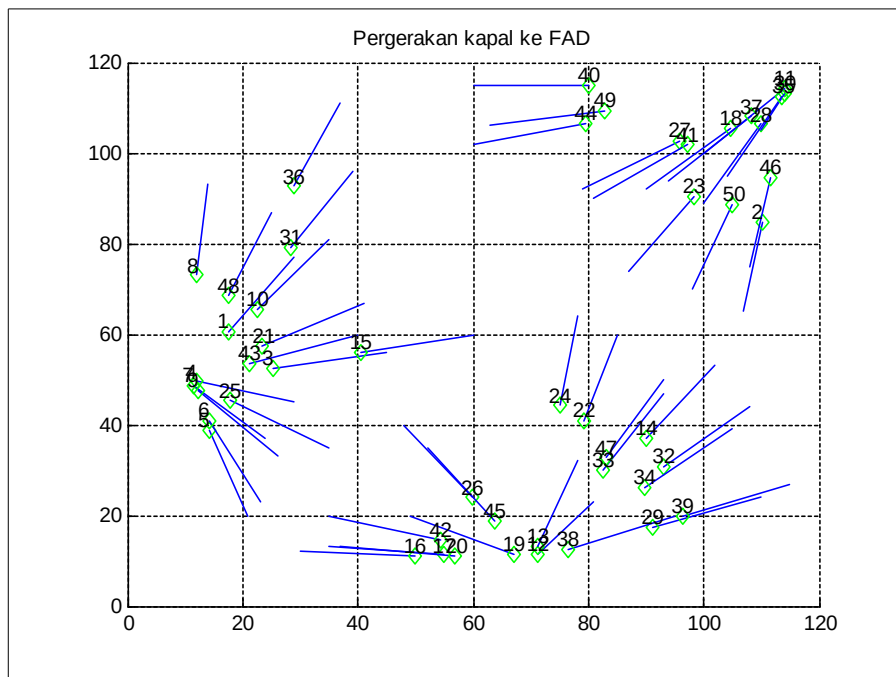


Gambar 6.3 Skenario pengujian optimasi rute

Skenario pertama yang dilakukan adalah menjalankan algoritma optimasi rute trafik data antar kapal menggunakan BFG dan pergerakan menuju FAD berbasis GA. Topologi awal jaringan diperlihatkan pada Gambar 6.4, terdapat 50 kapal penangkap ikan yang tersebar dalam area 120×120 km. Terdapat 3 lokasi FAD yang akan dituju kapal penangkap ikan. Simulasi dilakukan dengan menetapkan sumber V_1 menuju tiap kapal dalam jaringan yaitu V_2 hingga V_{50} untuk rute trafik datanya, sembari tiap kapal dalam jaringan bergerak menuju FAD dengan pertimbangan jarak dan kondisi di FAD. Pergerakan berbasis GA melakukan regenerasi sebanyak 2 kali. Sedangkan skenario kedua adalah menjalankan optimasi rute trafik data menggunakan algoritma PSO dan rute menuju FAD menggunakan algoritma Genetika.



Gambar 6.4 Topologi awal jaringan kapal penangkap ikan

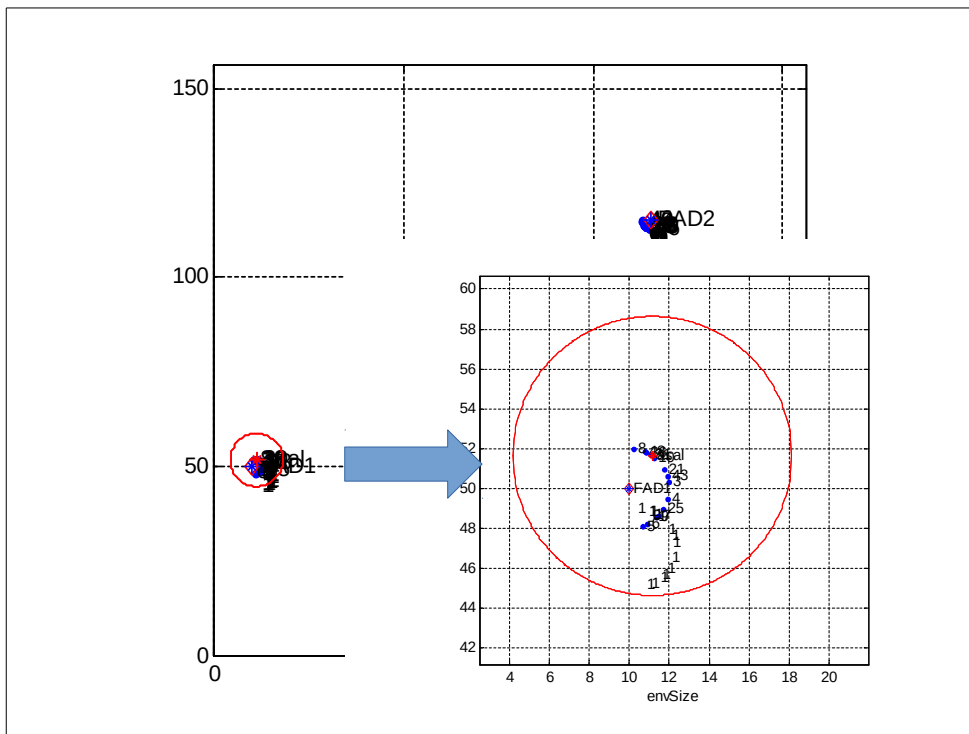


Gambar 6.5 Jaringan kapal bergerak menuju FAD

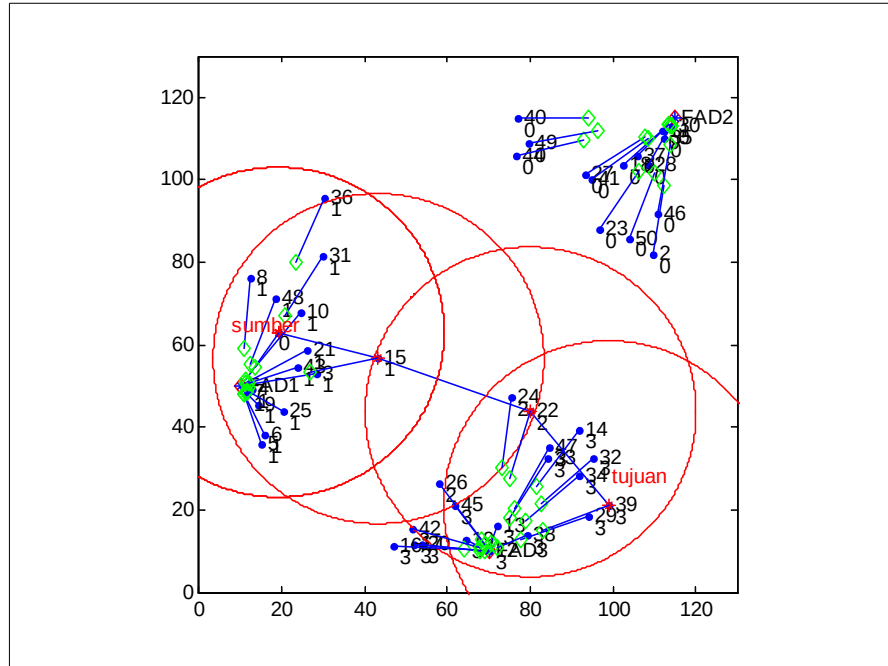
Dengan posisi kapal yang tersebar pada area 120×120 km, mengarah pada tujuan FAD masing-masing dengan pertimbangan jarak dan kondisi lingkungan.

6.3.1 Keberhasilan Menentukan Rute

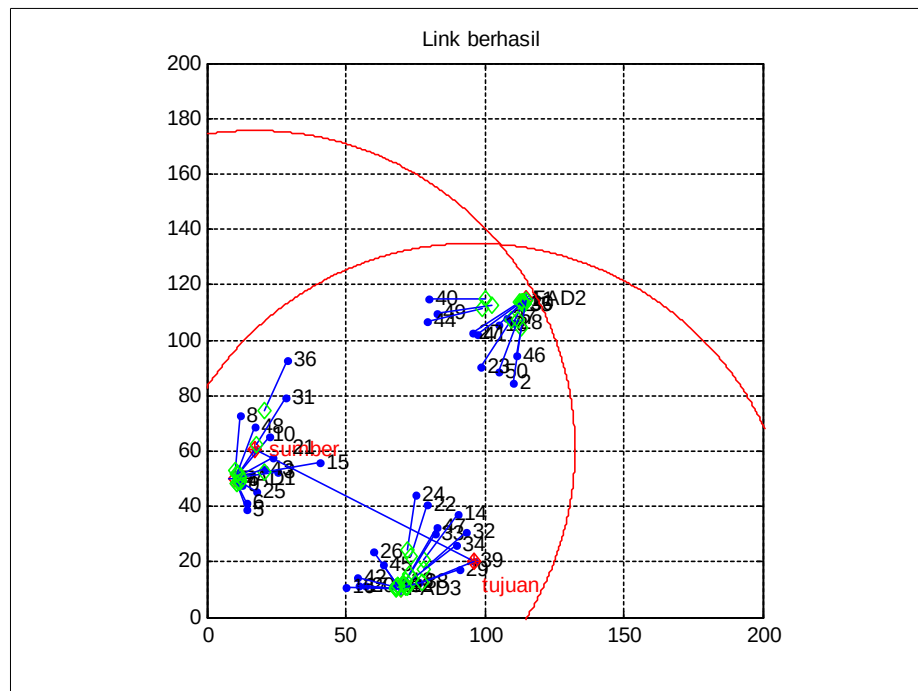
Pengujian pertama adalah menentukan rute trafik data dengan variasi Tx range dari 7 hingga 40 km. Pengujian ini dilakukan dengan mensimulasikan dari V_1 ke semua 49 kapal tujuan. Hal ini disebabkan karena Tx range yang kecil dan tidak berada dalam cakupan transmisi kapal lain. Pada Gambar 6.5, diperlihatkan semua kapal menuju FAD terdekat. Adapun tampilan akhir simulasi di mana semua kapal telah berada pada area FAD ditunjukkan pada Gambar 6.6, terlihat bahwa sebelum langkah ke-12, semua kapal telah mencapai dan berada pada lokasi FAD tujuan masing-masing. Pada Gambar 6.7 diketahui bahwa level V_{39} adalah nol. Ini mengindikasikan bahwa tidak adanya koneksi antara V_1 ke V_{39} , sehingga rute trafik data antara keduanya tidak dapat terbangun. Pada Gambar 6.7, dari V_1 hanya terkoneksi dan tercakup dalam transmisi dengan V_{10} dan V_{21} (level 1); V_{43} , V_{48} , dan V_3 (level 2), sedangkan lainnya adalah level nol. Berikutnya, pergerakan berbasis GA, di mana semua kapal mencapai FAD. Tx range diperbesar hingga 115 km, dan rute trafik data dapat terkoneksi untuk semua kapal tujuan, salah satu contoh antara V_1 dan V_{39} seperti terlihat pada Gambar 6.7.



Gambar 6.6 Tampilan akhir rute destinasi FAD



Gambar 6.7 Rute trafik data V_1 ke V_{39} menggunakan BFG-G



Gambar 6.8 Rute trafik data V_1 ke V_{39} menggunakan PSO-G

Pada algoritma optimasi rute PSO-G, rute destinasi menuju FAD juga menggunakan algoritma genetika. Untuk rute trafik data, PSO digunakan untuk

memilih rute yang sesuai dengan fungsi *fitness* mencapai kapal tujuan. Tampilan rute trafik data menuju V_{39} diperlihatkan pada Gambar 6.8 ketika $Tx\ range$ kapal 115 km.

Dari hasil simulasi dapat diamati bahwa ternyata kedua mekanisme mampu menentukan rute destinasi menuju FAD 100%. Sedangkan pada optimasi rute trafik data, BFG-G belum mampu menentukan rute untuk semua kapal tujuan pada cakupan transmisi ($Tx\ range$) 7 km, karena tidak adanya koneksi, terbukti level tujuan adalah 0. BFG-G mampu menentukan rute trafik data ketika $Tx\ range$ 40 km ketika menuju V_{39} dengan kecepatan kapal 17 km/jam, pada langkah 1, rute trafik dapat ditentukan. V_1 terhubung dengan level 1 sebanyak 15 kapal dan terpilih V_{15} dengan jarak terpendek dengan V_{39} . Proses berikutnya dilakukan dengan melakukan perhitungan probabilitas seperti pada persamaan 3.2 dan 3.3. Hasil perhitungan terlihat pada Tabel 6.2. Setelah itu kapal berikutnya yang dipilih adalah V_{22} , karena probabilitas totalnya tertinggi. Selanjutnya V_{22} terkoneksi langsung dengan V_{39} . Ketika kecepatan kapal diperbesar 20 km/jam, jumlah kapal yang terhubung dengan tujuan juga berubah dan pemilihan kapal relai juga berubah. Seperti penentuan kapal relai dari V_{15} , ternyata hanya dua kapal yang terkoneksi yaitu V_{26} dan V_{24} , di mana nilai probabilitasnya diperlihatkan pada Tabel 6.3.

Tabel 6.2 Probabilitas kapal level 2 (kecepatan 17 km/jam)

	$V\ level\ 2$	Jarak ke V_{39}	P_{d_i}	P_{c_i}	P_{gossip}
V_{15}	V_{26}	41.3844	0.715476	1	0.328498
V_{15}	V_{24}	35.2476	0.840045	0.866667	0.326819
V_{15}	V_{22}	29.6096	1	0.8	0.344683

Tabel 6.3 Probabilitas kapal level 2 (kecepatan 20 km/jam)

	$V\ level\ 2$	Jarak ke V_{39}	P_{d_i}	P_{c_i}	P_{gossip}
V_{15}	V_{26}	36.6755	0.879333	1	0.491906
V_{15}	V_{24}	32.25	1	0.941176	0.508094

6.3.2 Kompleksitas Waktu dan Akurasi Algoritma BFG-G dan PSO-G

Pengujian berikutnya adalah kompleksitas waktu, yaitu waktu yang diperlukan untuk mengeksekusi semua iterasi pemilihan rute trafik data dan destinasi. Pengujian ini dilakukan ke semua kapal tujuan (V_2, \dots, V_{49}). Pada optimasi BFG-G, waktu yang diperlukan rata-rata sekitar 24.5146 s untuk pemilihan rute trafik data dan destinasi. Sedangkan pada PSO-G, waktu yang diperlukan sekitar 15.08 s. Adapun perhitungan keakurasian, peneliti menghitung nilai MAPE untuk tiap pemilihan rute, hasil yang didapatkan untuk BFG-G sebesar 0.4988 % dan PSO-G sebesar 0.4986 %.

6.3.3 Konvergen dan Jumlah Relai

Pengujian berikutnya adalah kecepatan konvergen kedua algoritma. Peneliti melakukan pengujian dengan cara simulasi rute trafik data dari V_1 ke semua kapal tujuan dengan mendapatkan nilai jarak konstan terhadap kapal tujuan dari langkah 1 hingga 12. Pada optimasi BFG-G dengan kecepatan 20 km/jam, menuju V_{31} , didapatkan hasil pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4 Konvergen V_1 ke V_{31} BFG-G

Langkah	Jumlah relai	Jarak (km)
1	0	21.3901
2	0	12.3813
3	0	0.101408
4	0	0.101408
5	0	0.101408
6	0	0.101408
7	0	0.101408
8	0	0.101408
9	0	0.101408
10	0	0.101408
11	0	0.101408
12	0	0.101408

Bila dibandingkan dengan algoritma PSO-G dengan kapal tujuan sama didapatkan hasilnya seperti dalam Tabel 6.5. Kedua algoritma menunjukkan konvergen pada langkah ke-3. Namun jumlah relai yang diperlukan untuk mencapai tujuan tidak sama. BFG-G tidak memerlukan relai sedangkan PSO-G hingga 4. Dari pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil pada jaringan bergerak 50 kapal seperti pada Tabel 6.6.

Tabel 6.5 Konvergen V_1 ke V_{31} PSO-G

Langkah	Jumlah relai	Jarak (km)
1	4	21.7561
2	4	12.3813
3	4	0.101408
4	4	0.101408
5	4	0.101408
6	4	0.101408
7	4	0.101408
8	4	0.101408
9	4	0.101408
10	4	0.101408
11	4	0.101408
12	4	0.101408

Tabel 6.6 Evaluasi pengujian BFG-G dan PSO-G

		BFG-GA					PSO-G				
<i>Tx range</i>		7	10	20	30	40	7	10	20	30	40
Berhasil terkoneksi	Langkah 1	5	15	15	15	14	5	15	14	14	15
	2	7	0	0	0	0	7	0	0	0	0
	3	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Putus	Langkah 1	34	34	21	34	35	34	34	35	35	26
	2	0	0	13	0	0	0	0	0	0	8
Konvergen	Langkah 1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	2	10	13	11	11	11	11	12	11	11	11
	3	4	1	3	3	2	3	2	2	2	3
	4	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
Jumlah max kapal relai		3	3	3	3	3	6	6	6	6	6

Pada Tabel 6.6 terlihat bahwa BFG-G masih dapat membangun rute trafik data pada langkah 1 dan putus pada langkah 2 pada *Tx range* 20 km sebanyak 13 kali, sedangkan PSO-G total putus sejak awal 35 kali. Hasil pengujian secara menyeluruh dapat diringkas dalam Tabel 6.7.

Tabel 6.7 Kinerja algoritma optimasi rute

Kinerja	BFG-G	PSO-G
Keberhasilan menentukan rute FAD (%)	100	100
Keberhasilan menentukan rute trafik data (%) <i>Tx range</i> 7 - 40 km	26	25.7
Keberhasilan menentukan rute trafik data (%) <i>Tx range</i> > 100 km	100	100
Keakurasian (MAPE-%)	0.4988	0.4986
Kompleksitas waktu (s)	24.5146	15.08
Konvergen	Langkah ke-2	Langkah ke-2
Jumlah relai	1	4

Mengacu pada Tabel 6.7, algoritma optimasi rute PSO-G menunjukkan keunggulan pada kompleksitas waktu saja. Sedangkan BFG-G memiliki keunggulan dengan jumlah relai yang sedikit untuk mencapai tujuan. Kedua algoritma BFG-G dan PSO-G mampu mencari sebuah solusi rute dari semua alternatif yang ada, oleh karena itu kedua algoritma tersebut dapat dinyatakan sebagai algoritma yang optimal dan komplit.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 7

PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Algoritma optimasi rute menggunakan algoritma *blind search* yaitu BFS dan DFS serta SI yang terdiri atas Gossip, FA, GA dan PSO dapat dimodelkan untuk menentukan rute trafik data dan destinasi khususnya menuju lokasi tangkapan ikan pada jaringan bergerak maritim. BFG adalah algoritma optimasi rute trafik data yang merupakan kombinasi BFS, model *fixed radius* dan algoritma Gossip yang menawarkan solusi lebih baik dibandingkan algoritma DFS atau *flooding*. Optimasi lain yang diusulkan adalah penerapan FA dan GA untuk menentukan rute lokasi tangkapan ikan terbaik dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan di laut seperti cuaca dan tinggi gelombang air laut. Berikutnya implementasi PSO yang diusulkan untuk mendapatkan solusi rute trafik data pada jaringan dinamik. Optimasi *hybrid* rute trafik data dan lokasi tangkapan ikan dikembangkan dalam sebuah algoritma BFG-G dan PSO-G yang diterapkan pada skenario jaringan bergerak maritim. Pengujian berupa simulasi dengan 50 kapal penangkap ikan serta melakukan evaluasi komputasi, menunjukkan bahwa kedua algoritma mampu menentukan rute lokasi tangkapan ikan 100% dan khusus rute trafik data dengan *Tx range* 7-40 km, kedua algoritma hanya sebagian mampu mendapatkan rute trafik datanya, karena disebabkan cakupan transmisi yang kecil sehingga tidak dapat menjangkau kapal lainnya. Kecepatan konvergen dan keakurasian kedua algoritma serupa dalam menentukan rute trafik data. Pada kompleksitas waktu menunjukkan bahwa PSO-G lebih cepat dari BFG-G. Pengujian lain adalah banyaknya relai yang diperlukan untuk mencapai tujuan pada rute trafik data, mengindikasikan bahwa BFG-G lebih sedikit dibanding PSO-G dan mampu membangun rute trafik pada saat langkah pertama sebanyak 13 kali dibanding PSO-G. Hasil evaluasi komputasi kedua metode BFG-G dan PSO-G dapat diikhtisarkan pada Tabel 7.1. Terdapat delapan parameter yang dievaluasi untuk menentukan algoritma rute trafik data dan destinasi yang terbaik.

Tabel 7.1 Evaluasi Komputasi

Evaluasi	BFG-G	PSO-G
Komputasi waktu	Cukup	Baik
Akurasi	Baik	Baik
Optimal	Ya	Ya
Komplit/Lengkap	Ya	Ya
Konvergen	Cepat	Cepat
Jumlah relai	1	4
Keberhasilan menemukan rute trafik data langkah 1	13	0

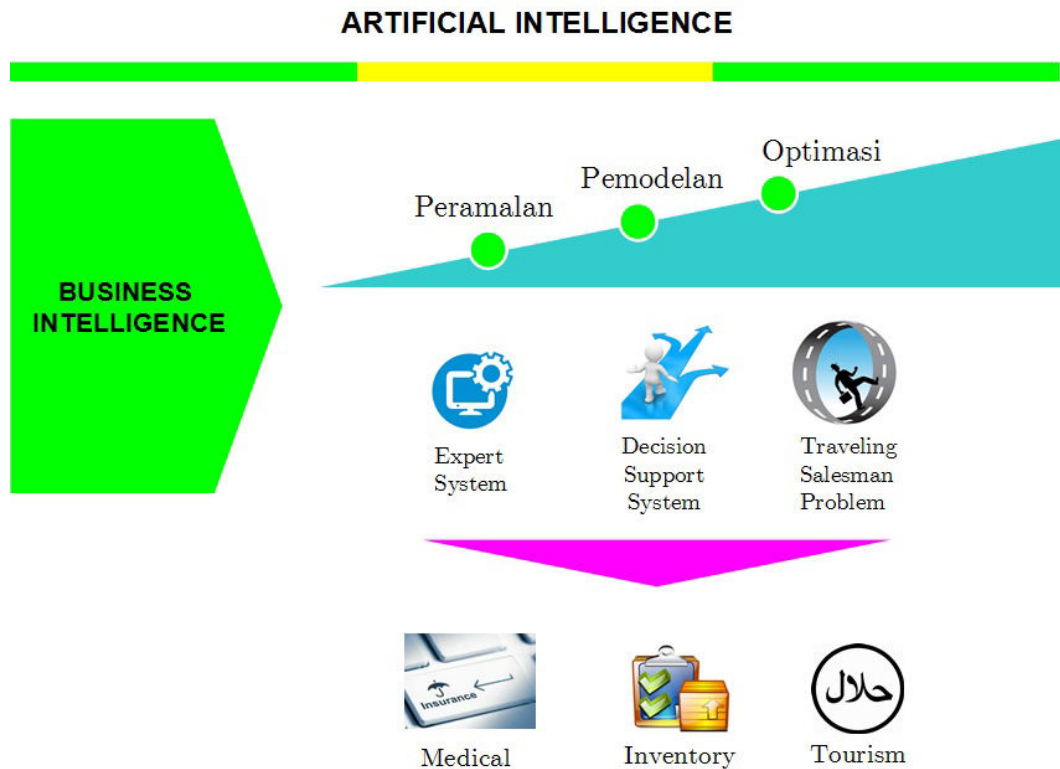
Dari Tabel 7.1 terlihat bahwa BFG-G memiliki dua keunggulan yaitu jumlah relai dan keberhasilan menemukan rute trafik data pada langkah 1. Sedangkan PSO-G hanya pada kompleksitas waktu yang lebih baik dibanding BFG-G. Kedua algoritma dapat digunakan sebagai alternatif solusi sebagai metode optimasi rute trafik data dan destinasi pada jaringan bergerak maritim.

Algoritma optimasi rute trafik data dan lokasi tangkapan ikan dapat diterapkan pada kapal di bawah 30 GT dengan dua solusi, pertama, tambahan perangkat komputasi yang berfungsi untuk mengolah informasi, menyimpan, menerima dan mengirim seperti mikroprosesor/mikrokontroler (aduno), *laptop*, *smartphone* yang dilengkapi dengan *memory* yang terhubung dengan kemudi kapal untuk menuju titik/arah tertentu pada tiap kapal. Kedua, pusat monitoring di darat dapat melakukan komputasi karena kapal < 30 GT tidak dilengkapi GPS sehingga komunikasi melalui HT atau telpon seluler. Penerapan Algoritma optimasi ini dapat diterapkan pada skala besar atau jumlah kapal yang banyak tanpa merubah model.

7.2 Penelitian Selanjutnya

Metode optimasi AI banyak dapat diimplementasikan pada berbagai bidang. Untuk penelitian selanjutnya, peneliti menginvestigasi peluang dan tantangan implementasi metode optimasi *swarm intelligence* (SI) pada bidang *Business Intelligence*, yang meliputi peramalan/prediksi (*forecasting*), pemodelan (*modeling*) dan optimasi (*optimization*). Implementasi BI yang dikembangkan

dapat berupa *expert system* (ES), *decision support system* (DSS), dan *traveling salesman problem* (TSP). Ketiga hal tersebut sebagai pendukung dalam pengembangan *halal tourism*, *medical insurance expert system* dan *decision support inventory system*. Penerapan metode peramalan/prediksi, pemodelan dan optimasi SI menjadi bagian penting dalam membangun sebuah sistem baik di bidang kesehatan, penentuan rute destinasi terbaik pada permasalahan *traveling salesman* lokasi wisata halal, dan penentuan jumlah dan waktu pemesanan barang pada sistem pendukung keputusan persediaan (*inventory*). Secara garis besar, penelitian selanjutnya diperlihatkan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Penelitian selanjutnya

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR PUSTAKA

- [1] FAO, "Component VMS," *Fisheries and Aquaculture Department*, 2018. .
- [2] KKP RI, "Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 10/PERMEN-KP/2013 Tentang Sistem Pemantauan Kapal Perikanan," *Direktorat Jenderal Pengawasan Sumber Daya Kelautan dan Perikanan*, 2015. .
- [3] KKP RI, "Jumlah Kapal Penangkap Ikan," *Satu Data Indonesia*, 2016. .
- [4] S. A. Hamid, H. S. Hassanien, and G. Takahara, *Routing for Wireless Multi-Hop Networks*. Ontario, Canada: Springer, 2013.
- [5] X.-S. Yang, *Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [6] T. Weise, *Global Optimization Algorithms: Theory and Application*, 2nd ed. Germany, 2009.
- [7] A. E. Hassanien and E. Emary, *Swarm Intelligence: Principles, Advances, and Applications*. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group, 2016.
- [8] S. N. Kumbharana and G. M. Pandey, "Solving Travelling Salesman Problem using Firefly Algorithm," *Int. J. Res. Sci. Adv. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 53–57, Apr. 2013.
- [9] Y. Zhang, C. Yuan, H. Li, and T. Yang, "A optimization method used for sailing route of solar ship," presented at the 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), Banff, AB, Canada, 2017, pp. 541–544.
- [10] K. Takadama, H. Sato, D. Watanabe, E. Azuma, T. Majima, and M. Katuhara, "Ship route evolutionary optimization of multiple ship companies for distributed coordination of resources," presented at the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), Sendai, Japan, 2015, pp. 1450–1457.
- [11] K. Wang, X. Yan, Y. Yuan, X. Jiang, G. Lodewijks, and R. R. Negenborn, "PSO-based method for safe sailing route and efficient speeds decision-support for sea-going ships encountering accidents," presented at the IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), Calabria, Italy, 2017, pp. 413–418.
- [12] A. De, A. Choudhary, and M. K. Tiwari, "Multiobjective Approach for Sustainable Ship Routing and Scheduling With Draft Restrictions," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. PP, no. 99, pp. 1–17, Dec. 2017.
- [13] T. Yang, H. Feng, J. Zhao, R. Deng, Y. Wang, and Z. Su, "Genetic optimization-based scheduling in maritime cyber physical systems," *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*, vol. 13, no. 7, pp. 1–10, Jul. 2017.
- [14] Z. Haider and F. Shabbir, "Genetic Based Approach for Optimized Routing in Maritime Tactical MANETs," presented at the 11th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST), Islamabad, Pakistan, 2014, pp. 488–492.

- [15] D. Sumić, D. Peraković, and M. Jurcević, "Optimizing Data Traffic Route for Maritime Vessels Communications," in *Procedia Engineering*, Vienna, Austria, 2014, vol. 100.
- [16] Z. Li, Z. Ma, W. Shi, and X. Qian, "Research on Medicine Distribution Route Optimization for Community Health Service Institutions," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2016, pp. 1–7, Apr. 2016.
- [17] S. Ramteke and D. Dubey, "Performance Analysis of A* Algorithm and Ant Colony Optimization Algorithm for Solving Traveling Salesman Problem," *Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun.*, vol. 3, no. 2, pp. 440–442, Feb. 2015.
- [18] X. Ma, "Intelligent Tourism Route Optimization Method based on the Improved Genetic Algorithm," presented at the International Conference on Smart Grid and Electrical Automation, Zhangjiajie, China, 2016.
- [19] P. A. Shah, H. B. Hasbullah, I. A. Lawal, A. A. Mu'azu, and L. T. Jung, "A TOTP-Based Enhanced Route Optimization Procedure for Mobile IPv6 to Reduce Handover Delay and Signalling Overhead," *Sci. World J.*, vol. 2014, pp. 1–16, Feb. 2014.
- [20] R. Liu, J. Li, and Q. Chen, "A route optimization method for urban power pipeline network layout," presented at the 5th International Conference on Computer Science and Network Technology, Changchun, China, 2016, pp. 381–385.
- [21] K. Thenmozhi and D. E. Ramaraj, "Routing Overhead in MANET-Minimization with Multipath Local Route Discovery Routing Protocol," *Int J Eng Trends Technol IJETT*, vol. 13, no. 4, pp. 144–147, Jul. 2014.
- [22] H. Al Bahadili and Ali Maqousi, "Performance Evaluation of the LAR-1P Route Discovery Algorithm," *Int. J. Comput. Netw. Commun.*, vol. 3, no. 6, pp. 55–69, Nov. 2011.
- [23] Kemdikbud, "Optimasi," *KBBI Daring*, 2016. [Online]. Available: <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/optimasi>. [Accessed: 23-Jul-2017].
- [24] R. A. Sarker, H. A. Abbass, and C. S. Newton, *Heuristics and Optimization for Knowledge Discovery*. Hershey PA, USA: Idea Group Publishing, 2002.
- [25] Telogis, "What is Route Optimization?," *Connect, Optimize and Automate Your Enterprise Fleet*, 2017. [Online]. Available: <https://www.telogis.com/glossary/what-is-route-optimization>. [Accessed: 22-Jul-2017].
- [26] Z. Liang, Y. Taenaka, T. Ogawa, and Y. Wakahara, "Pro-Reactive Route Recovery with Automatic Route Shortening in Wireless Ad Hoc Networks," in *2011 10th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS)*, 2011, pp. 57–64.
- [27] K. Zeng, W. Lou, M. Li, X. Shen (Eds), and Y. Pan (Eds), *Multihop Wireless Networks: Opportunistic Routing*, 1st ed. A John Wiley & Sons, Ltd., 2011.
- [28] Javvin Technologies, Inc., *Network Dictionary*. Javvin Press, 2007.
- [29] A. Affandi, "Sistem Komunikasi Data Terpadu Armada Perahu Nelayan Menggunakan Kanal Frekuensi Tinggi (VMeS-Vessel Messaging System)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Penelitian, 2010.

- [30] R. Rajaraman, "Introduction to Dynamic Networks: Models, Algorithms, and Analysis," DYNAMO Training School, Lisboa, Portugal, 28-Jun-2006.
- [31] S. Glisic, *Advanced wireless networks: technology and business models*, Third. West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd., 2016.
- [32] S. Hakak, S. A. Latif, F. Anwar, M. K. Alam, and G. Gilkar, "Effect of 3 Key Factors on Average End to End Delay and Jitter in MANET," *J. ICT Res. Appl.*, vol. 8, no. 2, pp. 113–125, Nov. 2014.
- [33] Y. Sasson, D. Cavin, and A. Schiper, "Probabilistic broadcast for flooding in wireless mobile ad hoc networks," in *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE*, 2003, vol. 2, pp. 1124–1130.
- [34] L. Csato, "Search Techniques for Artificial Intelligence," *Logical and functional programming*, 2005. [Online]. Available: http://www.cs.ubbcluj.ro/~csatol/log_funk/prolog/slides/7-search.pdf. [Accessed: 07-Jun-2017].
- [35] G. Kendall, "G5AIA

- [46] A. M. Zungeru, L.-M. Ang, and K. P. Seng, "Classical and swarm intelligence based routing protocols for wireless sensor networks: A survey and comparison," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 35, pp. 1508–1536, 2012.
- [47] F. Ducatelle, G. A. Di Caro, and L. M. Gambardella, "Principles and applications of swarm intelligence for adaptive routing in telecommunications networks," *Swarm Intell.*, vol. 4, no. 3, pp. 173–198, 2010.
- [48] S. Rajagopalan and C. Shen, "ANSI: A unicast routing protocol for mobile ad hoc networks using swarm intelligence," presented at the International Conference on Artificial Intelligence, 2005, pp. 104–110.
- [49] A. Demers *et al.*, "Epidemic algorithms for replicated database maintenance," in *Proceedings of the sixth annual ACM Symposium on Principles of distributed computing*, 1987, pp. 1–12.
- [50] A. Saidi and M. Mohtashemi, "Minimum-cost First-Push-Then-Pull gossip algorithm," presented at the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2012, pp. 2554–2559.
- [51] R. Hu, J. Sopena, L. Arantes, P. Sens, and I. Demeure, "Fair Comparison of Gossip Algorithms over Large-Scale Random Topologies," presented at the IEEE 31st Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS), 2012, pp. 331–340.
- [52] Z. J. Haas, J. Y. Halpern, and L. Li, "Gossip-based ad hoc routing," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 14, no. 3, pp. 479–491, Jun. 2006.
- [53] Z. J. Haas, J. Y. Halpern, and L. Li, "Gossip-based ad hoc routing," presented at the INFOCOM 2002, Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 2002, vol. 3, pp. 1707–1716.
- [54] A. Montresor, "Intelligent gossip," presented at the International Symposium on Intelligent Distributed Computing, 2008.
- [55] A. Chiuso, F. Fagnani, L. Schenato, and S. Zampieri, "Gossip algorithms for distributed ranking," presented at the American Control Conference (ACC), 2011, pp. 5468–5473.
- [56] D. Kempe, A. Dobra, and J. Gehrke, "Gossip-based computation of aggregate information," presented at the 44th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, 2003, pp. 482–491.
- [57] D. Yamamasu and N. Hayashibara, "On message reachability of gossip algorithms in degree-biased peer-to-peer networks," in *2014 20th IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*, 2014, pp. 817–822.
- [58] H. Al-Bahadili and A. Maqousi, "Performance Evaluation of The LAR-1P Route Discovery Algorithm," *Int. J. Comput. Netw. Commun. Icatations*, vol. 3, no. 6, Nov. 2011.
- [59] M. Fakrudeen, S. Yousef, S. Tapaswi, S. Deshmukh, and M. Cole, "Performance Analysis of the Gossip-Based Ad Hoc Routing Using Received Signal Strength of AODV," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 5, pp. 158–165, May 2016.

- [60] H. Al-Bahadili, G. Issa, and A. Sabri, "Enhancing The Performance of The DNDP Algorithm," *Int. J. Wirel. Mob. Netw.*, vol. 3, no. 2, pp. 113–124, Apr. 2011.
- [61] D. G. Reina, M. Günes, and S. L. Toral, "Real experimentation of probabilistic broadcasting algorithms based on dissimilarity metrics for multi-hop ad hoc networks," *Ad Hoc Netw.*, vol. 47, pp. 1–15, Sep. 2016.
- [62] P. Leela and K. Yogitha, "Hybrid Approach for Energy Optimization in Wireless Sensor Networks," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 959–964, Mar. 2014.
- [63] P. Erdos and A. Ren'yi, "On The Evolution of Random Graphs," *Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci.*, vol. 5, pp. 17–61, 1960.
- [64] B. Krishnamachari, S. B. Wicker, and R. Bejar, "Phase transition phenomena in wireless ad hoc networks," in *IEEE Global Telecommunications Conference, 2001. GLOBECOM '01*, 2001, vol. 5, pp. 2921–2925 vol.5.
- [65] X.-S. Yang, *Nature-inspired metaheuristic algorithms*, 2nd ed. Frome: Luniver Press, 2008.
- [66] A. P. Florence and V. Santhi, "A load balancing model using firefly algorithm in cloud computing," *J. Comput. Sci.*, vol. 10, no. 7, pp. 1156–1165, 2014.
- [67] G. Wang, L. Guo, H. Duan, L. Liu, and H. Wang, "A Modified Firefly Algorithm for UCAV Path Planning," *Int. J. Hybrid Inf. Technol.*, vol. 5, no. 3, pp. 123–144, Jul. 2012.
- [68] L. Kota, "Optimization of the supplier selection problem using discrete firefly algorithm," *Adv. Logist. Syst.*, vol. 6, no. 1, pp. 117–126, 2012.
- [69] M. N. . Wahab, S. N. Meziani, and A. Atyabi, "A comprehensive review of swarm optimization algorithms," *PLoS ONE*, vol. 10, no. 5, pp. 1–21, May 2015.
- [70] A. Y. Hamed, "A genetic algorithm for finding the k shortest paths in a network," *Egypt. Inform. J.*, vol. 11, no. 2010, pp. 75–79, Oct. 2010.
- [71] X. Jing, Y. Liu, and W. Cao, "A Hybrid Genetic Algorithm for Route Optimization in Multimodal Transport," presented at the Fifth International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID), Hangzhou, China, 2012, pp. 261–264.
- [72] Q. Yang, M. Yu, S. Liu, and Z. Chai, "Path planning of robotic fish based on genetic algorithm and modified dynamic programming," presented at the International Conference on Advanced Mechatronic Systems, Zhengzhou, China, 2011, pp. 419–424.
- [73] A. K. Khuntia, B. B. Choudhury, B. B. Biswal, and K. K. Dash, "A heuristics based multi-robot task allocation," presented at the Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS), Trivandrum, India, 2011, pp. 407–410.
- [74] L. Foschini and M. Tortonesi, "Adaptive and business-driven service placement in federated Cloud computing environments," presented at the Integrated Network Management (IM 2013), Ghent, Belgium, 2013, pp. 1245–1251.

- [75] P. K. Arora, A. Haleem, M. Ksingh, H. Kumar, and Kaushik, "Design of a Production System Using Genetic Algorithm," presented at the 2nd International Conference on Innovations in Automation and Mechatronics Engineering, ICIAME 2014, Gujarat, India, 2014, vol. 14, pp. 390 – 396.
- [76] M. Imran, R. Hashim, and N. A. Khalid, "An Overview of Particle Swarm Optimization Variants," presented at the Malaysian Technical Universities Conference on Engineering & Technology, 2012, vol. 53, pp. 491–496.
- [77] S. Wang and B. Meng, "Chaos particle swarm optimization for resource allocation problem," presented at the IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2007, pp. 464–467.
- [78] P. A. Kowalski and S. Lukasik, "Experimental Study of Selected Parameters of the Krill Herd Algorithm," presented at the 7th IEEE International Conference Intelligent Systems IS'2014, Warsaw, Poland, 2014.
- [79] H. Yapıcı and N. Çetinkaya, "An Improved Particle Swarm Optimization Algorithm Using Eagle Strategy for Power Loss Minimization," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2017, pp. 1–11, Mar. 2017.
- [80] X. liang Li and G. Luo, "Research based on PSO-LSSVM Node Positioning in Wireless Network," *Int. J. Future Gener. Commun. Netw.*, vol. 9, no. 5, pp. 279–294, May 2016.
- [81] B. F. Solaiman and A. Sheta, "Energy optimization in wireless sensor networks using a hybrid K-means PSO clustering algorithm," *Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 24, no. 4, pp. 2679–2695, 2016.
- [82] K. D. Kalambe, A. R. Deshmukh, and S. S. Dorle, "Particle swarm optimization based routing protocol for vehicular ad hoc network," *Int. J. Eng. Res. Gen. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 1375–1382, Feb. 2015.
- [83] Z. H. Liu and X. L. Wang, "A PSO-based algorithm for load balancing in virtual machines of cloud computing environment," in *Advances in Swarm Intelligence*, Shenzhen, China, 2012.
- [84] P.-C. Chang, J.-J. Lin, and C.-H. Liu, "An attribute weight assignment and particle swarm optimization algorithm for medical database classifications," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 107, no. 3, pp. 382–392, 2012.
- [85] Q. Aini, A. Affandi, E. Setijadi, T. Terasawa, and M. H. Purnomo, "Breadth Fixed Gossip: a Route Discovery Mechanism in Ad Hoc Network," *IRECOS*, vol. 11, no. 11, Nov. 2016.
- [86] T. Russo *et al.*, "When behaviour reveals activity: Assigning fishing effort to métiers based on VMS data using artificial neural networks," *Fish. Res.*, vol. 111, no. 1–2, pp. 53–64, Sep. 2011.
- [87] Q. Aini, M. H. Purnomo, and A. Affandi, "Gossip algorithm approach and AODV in Vessel Messaging System: A comparison of performance," in *2014 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, 2014, pp. 159–163.
- [88] K. Bakhrankova, K. T. Midthun, and K. T. Uggen, "Stochastic optimization of operational production planning for fisheries," *Fish. Res.*, vol. 157, pp. 147–153, Sep. 2014.
- [89] J. C. Gutiérrez-Estrada, E. Yáñez, I. Pulido-Calvo, C. Silva, F. Plaza, and C. Bórquez, "Pacific sardine (*Sardinops sagax*, Jenyns 1842) landings

- prediction. A neural network ecosystemic approach,” *Fish. Res.*, vol. 100, no. 2, pp. 116–125, Oct. 2009.
- [90] M. Hanninen, O. A. V. Banda, and P. Kujala, “Bayesian network model of maritime safety management,” *Expert Syst Appl*, vol. 41, p. 7837–7846., 2014.
 - [91] C.-H. Chen, L. P. Khoo, Y. T. Chong, and X. F. Yin, “Knowledge discovery using genetic algorithm for maritime situational awareness.,” *Expert Syst Appl*, vol. 41, pp. 2742–2753, 2014.
 - [92] FAO, “Fish Aggregating Device (FAD),” *Fishing Technology Equipments*, 2017. .
 - [93] KKP RI, “KKP tetapkan PERMENKP No. 26/PERMEN-KP/2014 tentang Rumpon,” *Peraturan Menteri*, 2014. .
 - [94] Pranoto, “Penggunangan dan Pemanfaatan Rumpon Sebagai Alat Bantu Penangkapan Ikan,” *BPPP Tegal*, 2016. .
 - [95] BMKG, “Peta Prakiraan Tinggi Gelombang,” *Bidang Meteorologi Maritim*, 2016. .
 - [96] Y. Zhang, S. Wang, and G. Ji, “A comprehensive survey on particle swarm optimization algorithm and its applications,” *Math. Probl. Eng.*, vol. 2015, pp. 1–38, 2015.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BIODATA PENULIS



Qurrotul Aini, lahir di Malang 25 Maret 1973. Penulis adalah dosen tetap di jurusan Sistem Informasi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, sejak tahun 2009. Pendidikan Sarjana (S1) diselesaikan di jurusan Teknik Elektro, Teknik Telekomunikasi Universitas Brawijaya Malang tahun 1996. Lalu bekerja selama dua tahun di PT. IPTN Bandung sebagai *junior engineer* di departemen *Flight Deck Design*. Kemudian melanjutkan pendidikan Magister (S2) di jurusan Teknik Elektro, Program Studi Telekomunikasi Multimedia ITS Surabaya dan semasa kuliah S3 di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro ITS Surabaya, penulis adalah anggota Lab. Komunikasi Multimedia dan Jaringan Telekomunikasi. Penulis dapat dihubungi melalui alamat *email*: atafamily@yahoo.com